

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

**К. А. МЕТЕШКИН**

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**



Круглое невежество - не самое большое зло: накопление плохо усвоенных знаний еще хуже.

**ПЛАТОН**

Харьков  
ХНУГХ  
2014

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

**К. А. МЕТЕШКИН**

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

(для студентов 1 курса дневной формы обучения направления подготовки 6.080101 – «Геодезия, картография и землеустройство», а также для всех, кто хочет систематизировать свои знания)

**Харьков  
ХНУГХ  
2014**

**Метешкин К. А.** Конспект лекций по учебной дисциплине «Основы теории систем» (для студентов 1 курса дневной формы обучения направления подготовки 6.080101– «Геодезия, картография и землеустройство», специальности 8.08010104 – «Оценка земли и недвижимости») / К. А. Метешкин; Харк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Х.: ХНУГХ, 2014. – 122 с.

Автор: К. А. Метешкин

*Рекомендовано кафедрой геоинформационных систем, оценки земли и недвижимости (протокол №6 от 20.11.2013 г.)*

© К. А. Метешкин, 2014

© ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Параметры технологии обучения и иерархия ее целевых установок .....	4
1.2 Возникновение и развитие системных идей .....	6
1.3 Основные понятия теории систем .....	12
1.4 Свойства систем .....	20
1.5. Система как объект исследования. Классификация систем	23
1.6 Формальные языки представления и исследования сложных систем .....	31
1.7 Методы оценивания сложных систем .....	59

### 2 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОЗНАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

2.1 Проблемная ситуация как абстрактная система .....	66
2.2 Принципы и методы системного анализа .....	75
2.3 Информация и проявление ее свойств в сложных системах	81
2.4 Сложные информационно-управляющие системы и их архитектура .....	95
2.5 Моделирование сложных систем	
2.5.1 Понятие «модель» и «моделирование» .....	105
2.5.2 Виды моделей систем .....	106
2.5.3 Модели логики и динамики развития и функционирования сложных систем .....	110
2.6 Системно-синергетический подход как метод исследования самоорганизующихся систем .....	116
Дополнительные источники информации .....	119

*Моему внуку Сергею Валевичу  
Посвящается!*

*Учись, мой внук, наука сокращает  
нам опыты быстротекущей жизни.*

## **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

### **1.1 Параметры технологии обучения**

**Цель курса:** сформировать у студентов знания основ теории систем, а также их использования при решении сложных задач.

**Объект изучения:** сложные системы.

**Предмет изучения:** теоретические основы построения и использования сложных систем.

**Стратегия реализации учебного материала:** разработка технологии обучения в рамках образовательной стандартизированной технологии подготовки специалистов по специальности «Геоинформационные системы и технологии».

**Способы реализации технологии обучения:** *Вариант 1.* Традиционное изложение учебного материала. *Вариант 2.* Изложение учебного материала и отработка практических занятий с использованием компьютеров и оргтехники. *Вариант 3.* Самостоятельная отработка учебного материала с использованием модели профессиональных знаний преподавателя.

**Параметры технологии обучения:**

- начало реализации технологии обучения: 1 курс;
- продолжительность реализации технологии обучения: 2-й семестр;
- объем теоретического материала: 32 часа;
- объем лабораторных исследований: 32 часа;
- объем самостоятельной работы: 80 часов;
- расчетно-графических заданий: 2;
- диагностика знаний и умений: аттестация 2-й семестр, экзамен;
- правовое обеспечение: Государственный стандарт высшего образования вуза по специальности «Геоинформационные системы и технологии»;
- техническое обеспечение: средства информатики и оргтехника;

- программное обеспечение: Microsoft PowerPoint, Microsoft Visio, тестовые программы и др.;

- информационно – технологическое обеспечение: учебник «Введение в системный анализ», конспект лекций «Теория систем и системный анализ», Интернет;

- лингвистическое обеспечение: комбинированное (в письменной и устной формах) с использованием естественного русского языка и языка интерфейса PowerPoint; Microsoft Visio.

Сетевая модель изучения учебного материала представлена на рис. 1.1.

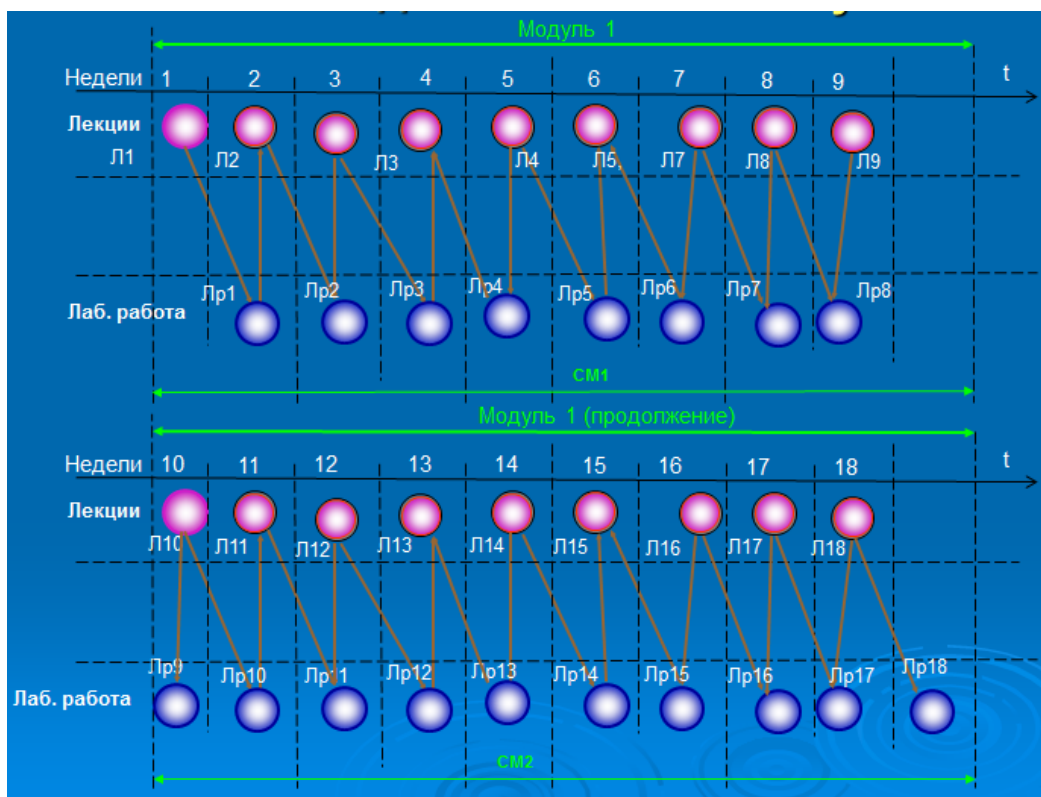


Рис. 1.1. Сетевая модель изучения учебного материала

Учебный материал условно разделен на два содержательных модуля. Содержание первого модуля (СМ.1) составляют методы и способы основ теории систем. Содержание второго модуля (СМ.2) представляет методы и способы системного анализа, которые по своей сути представляют инструментальные средства познания систем и процессов в них протекающих.

## 1.2 Возникновение и развитие системных идей

Возникновение системных идей уходит в глубокую древность. Слово «система» появилось в Древней Греции 2000 – 2500 лет назад. Источниками системных идей в Древней Греции являлась:

- практическая и профессиональная деятельность людей, которая была связана со структурами, целостностью объектов и явлений, взаимосвязями между ними. Целое и части всегда присутствовали в хозяйственной деятельности, торговле, военном деле, строительстве, медицине и т.д.;
- философия, которая осмысливала основные понятия системности, отрываясь от реальной действительности, и погружалась в мир абстракций;
- естественные знания и науки, которые формировали системность видения природы, в частности макро и микромира;
- социальные науки, науки о человеке, которые вырабатывали системный подход к изучению общества.

Открытия, сделанные астрономами в конце средневековья Н. Коперником (1473-1543 г.г), Д. Бруно (1548-1600 г.г.), Г. Галилеем (1564-1642 г.г.) и И. Кеплером (1571-1630 г.г.) послужили толчком к изучению не только свойств Солнечной системы, но и изучению свойств материи в целом [1].

Первой научной революции XVI – XVII в.в. характерны открытия фундаментальных законов развития природы, пополняющие «сокровищницу» естествознания. На основе результатов исследования движения планет И. Кеплер предложил модель солнечной *системы* из пяти платоновских тел, на основе которой разработал систему законов, описывающих движение планет, и положил основу создания небесной механики. Великий и счастливейший из смертных, по словам Лагранжа [1], И. Ньютон открыл закон Всемирного тяготения и другие законы, тем самым создав *систему* знаний механистического представления мира. Кроме того, в своей работе «Оптика» И. Ньютон раскрывает суть научного метода как *системы* взаимосвязанных методов исследования - анализа, синтеза и экспериментальных методов.

Можно утверждать, что системные идеи в период первой научной революции в различных областях естествознания принадлежат:

- Р. Декарту, предложившему в математике *систему* координат, которую впоследствии усовершенствовал Л. Эйлер;

- Г. Ф. Лейбницу, предложившему двоичную *систему* счисления, которая используется для представления чисел в современных ПК;

- Б. Паскалю и монахам А. Арно и К. Лансло в языкознании, создавших *систему* грамматических правил, так называемую «Грамматику Пор-Рояля»;

- Я. А. Коменскому в педагогике, предложившему первую стройную педагогическую *систему* в работе «Великая дидактика»;

- И. Канту в философии, где он сформулировал космогоническую гипотезу о происхождении Солнечной *системы* из первоначальной туманности, которая не утратила актуальность до сих пор.

Во вторую научную революцию (XVIII в. и до 1-й половины XIX века) идея развития систем получила научное обоснование в работах философа и экономиста Фридриха Энгельса (1820-1895 г.г.) «Анти-Дюринг», «Диалектика природы», «Людвиг Фейербах и конец классической немецкой философии», где он сформулировал важные положения системного мировоззрения. Наиболее важные из них следующие.

1. Представление об объективном мире как бесконечно большой, вечной, неоднородной и саморазвивающейся системе.

2. Наличие всеобщей объективной взаимосвязи и взаимообусловленности в природе.

3. Обоснование идеи организации, как на уровне природы, так и общества.

4. Рассмотрение взаимодействия между элементами на базе механизма притяжения и отталкивания.

5. Круговорот материи как форма всеобщего взаимодействия и направленного развития.

6. Положение о критических точках, в которых происходит перестройка объектов и переход их от одного качества к другому.

В возникновении и развитии системных идей во второй научной революции сыграл русский ученый-естествоиспытатель Ломоносов М. В. Его знания и способности позволили сделать выдающиеся открытия в исследовании как микро-, так и макро мира. Многим известно, что Ломоносов М. В. написал и успешно защитил научную работу, которая называлась «Физическая диссертация о различии смешанных тел, состоящих в сцеплении корпускул». Он создал молекулярно-кинетическую теорию,



которая легла в основу физической химии. Вместе с тем, он исследовал и Солнечную *систему* и открыл атмосферу на планете Венера.

Значительный вклад в развитие идей системности построения мира в третью научную революцию (конец XIX века – середина XX века) внес Д. И. Менделеев, открывший в феврале 1869 года один из фундаментальных законов природы - периодический закон химических элементов.

Результаты научных исследований в области естествознания в период третьей научной революции научно обобщил выдающийся немецкий ученый Альберт Эйнштейн [1], который на их основе разработал общую и специальную теорию относительности, где ввел понятия «*системы отсчета*» и «*инерциальные системы*». Он внес большой вклад в развитие физики, в частности пополнил ее квантовой теорией фотоэффекта и теплостокости, теорией индуцированного излучения и др. теориями.

Четвертая научная революция, с точки зрения развития системных идей и обобщения знаний о строении материи, дала миру таких ученых как Богданов А. А. (рис. 1.2) и Карл Людвиг фон Бергаланфи (рис. 1.3).

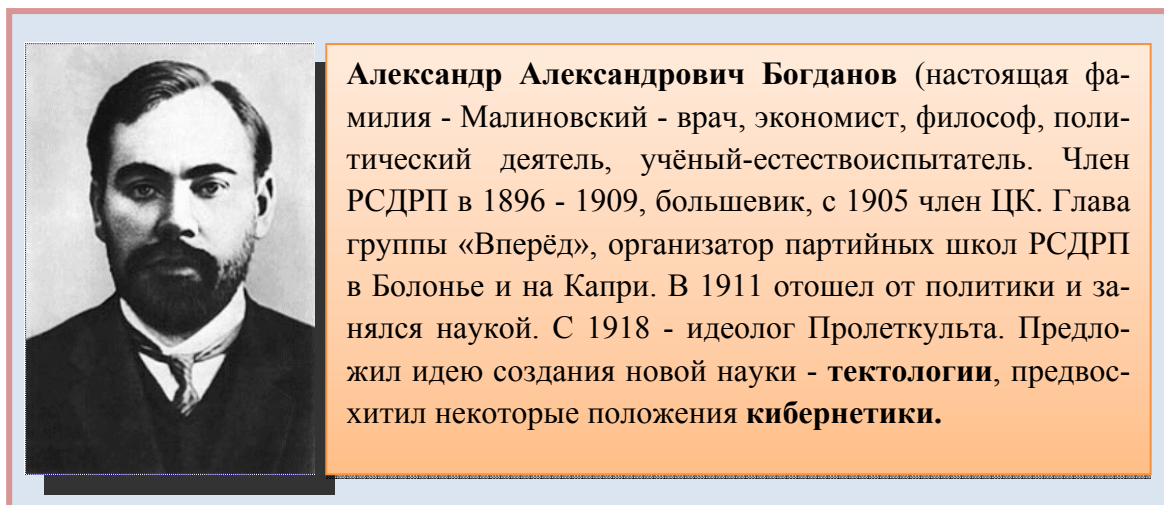


Рис. 1.2. Основатель новой науки тектологии

На фоне «оранжевых» событий, происходящих в Украине в 2004 – 2005 г.г., а также событий и манифестаций части украинского народа 2013 года (события еще не закончились), актуализируются мысли А. А. Богданова о том, что пролетариату нужно стремиться не к политическому господству, а к культурному вызреванию [2].

Тектология или «всеобщая организационная наука» А. А. Богданова в начале XX века считалась утопией, так как предполагала объединение всех

человеческих, биологических и физических наук, рассматривая их как системы взаимоотношений, и поиска общих организационных принципов для всех типов систем.

Богданову принадлежит идея о том, что все существующие объекты и процессы имеют определенную степень, уровень организованности. Все явления рассматриваются как непрерывные процессы организации и дезорганизации. Кроме того, Богданову принадлежит ценнейшее открытие, что уровень организации тем выше, чем сильнее свойства целого отличаются от простой суммы свойств его частей. В своих работах А. А. Богданов подчеркивал роли моделирования и математики как потенциальных методов решения задач тектологии.

Основателем системной концепции под названием «Общая теория систем» считается австрийский биолог Карл Людвиг фон Берталанфи, который ее предложил в 30-х годах прошлого столетия [3]. Основной идеей Общей теории систем, является признание изоморфизма законов, управляющих функционированием системных объектов.

**Изоморфизм** - понятие математической логики, означающее соотношение между двумя любыми объектами тождественной структуры.

Карл Людвиг фон Берталанфи также ввел понятие и исследовал “открытые системы” - системы, постоянно обменивающиеся веществом и энергией с внешней средой.

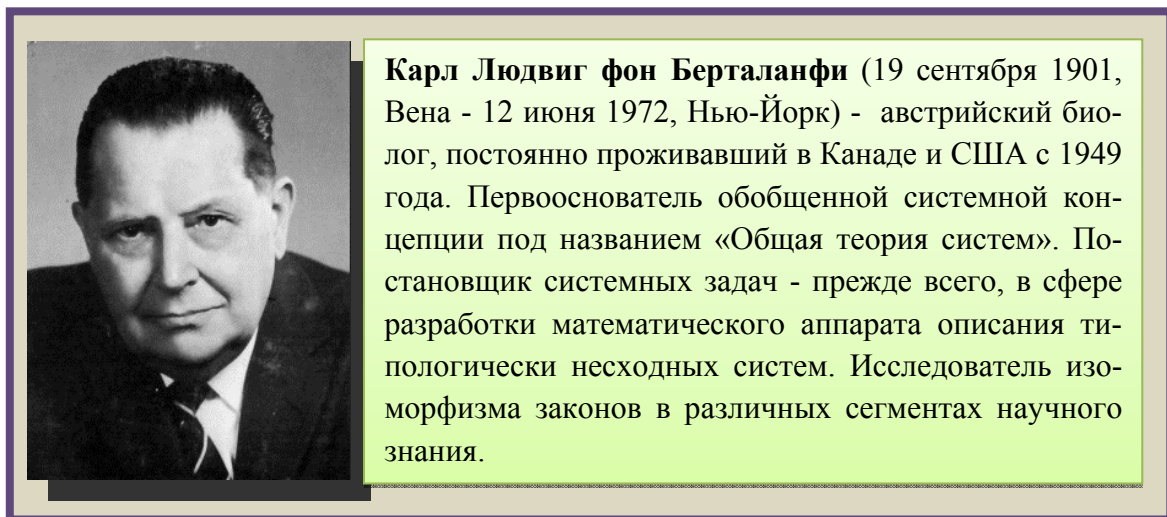


Рис. 1.3. Основатель общей теории систем

Общность законов развития естественных и искусственных (технических) систем заметил Н. Винер, основатель науки «Кибернетика», который

является автором книги «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине» [4]. Н. Винер один из первых осознал системности мира, общества и человеческой деятельности.

Нельзя не отметить заслуги в исследовании систем русского и советского естествоиспытателя, мыслителя и общественного деятеля XX века, первого президента Украинской академии наук В. И. Вернадского (рис.1.4). Он является создателем многих междисциплинарных наук, в том числе биогеохимии – науки изучающей химический состав живого вещества и геохимические процессы, протекающие в биосфере Земли при участии живых организмов.

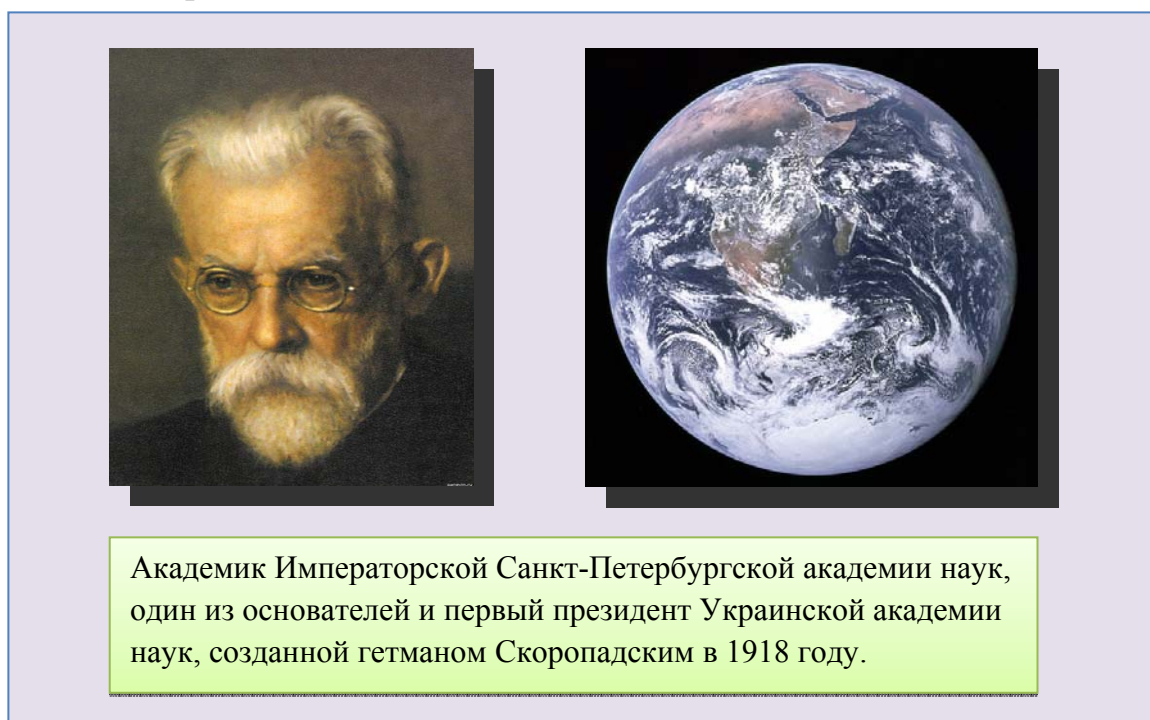


Рис. 1.4. Вернадский Владимир Иванович (1863 – 1945 гг.)

Важным этапом необратимой эволюции биосферы В. И. Вернадский считал её переход в стадию ноосферы. На современном уровне развития земной цивилизации можно считать, что ноосфера уже сформировалась и предпосылки ее возникновения стали реальностью. В.И. Вернадский выделял пять предпосылок возникновения ноосферы, **первая** из которых расселение *Homo sapiens* по всей поверхности планеты, и его победа в соревновании с другими биологическими видами. В настоящее время на поверхности Земли обитают около 7 миллиардов людей, которые не только одержали победу над другими биологическими видами, но беспощадно их унич-

тожают, нарушая при этом экосистему планеты. **Второй предпосылкой** формирования ноосферы В. И. Вернадский считал развитие всепланетных систем связи, создание единой для человечества информационной системы.

Такие системы созданы и успешно функционируют. Марсоходы «Оппортьюнити» и «Спирити» исследуют поверхность одной из ближайших к Земле планеты Марс и передают на землю различного рода информацию о химических и биологических характеристиках почвы Марса. Кроме того, дальний космос изучали космические аппараты Пионер 10, Пионер 11, Вояджер 1 и Вояджер 2. Ими получены качественные снимки Сатурна и Юпитера, а аппарат Вояджер 2 впервые вышел за пределы Солнечной системы. Создана Глобальная информационная компьютерная сеть Интернет.

Вернадский Н. И. предполагал (**третья и четвертая предпосылки**), что открытие и использование ядерных и термоядерных источников энергии, а также широкое вовлечение людей занятием наукой делает человечество геологической силой. **Пятая предпосылка** - победа демократий и доступ к управлению широких народных масс является политической и в условиях олигархического капитализма не актуальна.

Рассматривая историю педагогики можно утверждать, что системный подход в обучении первым применил Я. А. Коменский чешский педагог-гуманист [1], который разработал систему принципов и основных положений школьного обучения в «Великой дидактике», которая является базовой детерминантной для организации образования в целом [5]. Заимствование педагогической системы Я. А. Коменского разными государствами и привнося в нее свои специфические особенности, зависящие от развития, того или иного государства, его уклада, или политического строя формировала в государстве свою, с отличительными чертами *систему* образования.

С точки зрения общей теории систем, образовательные процессы начали рассматриваться в начале XX века. Педагогическая система А. С. Макаренко включала технологический подход к воспитанию. Он писал:

"Наше педагогическое производство никогда не строилось по технологической логике, а всегда по логике моральной проповеди. А я, чем больше думал, тем больше находил сходства между процессами воспитания и обычными процессами на материальном производстве, и никакой

особенно страшной механистичности в этом сходстве не было. ...» [6]. Педагогическая система А. М. Макаренко получила всемирное признание. Организация объединенных наций (ЮНЕСКО) в 1988 году признала, что в XX веке четыре педагога определили способ педагогического мышления – это Джон Дьюи, Георг Кершенштейнер, Мария Монтессори и Антон Макаренко.

Важную роль в развитии системных идей и их реализации в образовании сыграло решение, принятое в 1970 г. Советом министров Европейского союза о принятии первой программы сотрудничества в сфере образования. Многие ученые считают началом Болонского процесса именно 1970 год.

Системные идеи нашли свое отражение в Болонской декларации положениями о стандартизации транснационального образования, введении двух циклового обучения (бакалавриат и магистратура), а также внедрением в учебные процессы кредитно-модульной *системы*.

Таким образом, исследование Болонского процесса, который в настоящее время, развивается в условиях информационно - коммуникационной революции, обусловило использование методов теории систем и системного анализа, а также других наук, изучающих системы. К таким наукам относят кибернетику, которую составляют теории принятия решений, распознавания образов, информации, информатику, в том числе теорию игр, топологию, системологию и т.д. Сложность построения, масштабность и интеллектуальный характер протекающих процессов в образовательных системах приводит к тому, что все чаще образовательные системы и процессы исследуются методами системно-синергетического анализа.

### **1.3 Основные понятия теории систем**

В современной научной литературе, в том числе по общей теории систем и системному анализу формулируется несколько понятий термина «система» [6, 7].

Воспользуемся методическим инструментарием общего языкознания для объяснения смыслового понимания термина «система». Таким инструментарием является семантический треугольник, особенности построения, и использования которого детально рассмотрены в работе [1]. На

рис. 1.5 показано, что термину «система» соответствует некоторый обобщенный образ, называемый денотатом и его определение – сигнификатом.

Особенностью вершины треугольника под названием «денотат» является то, что ему соответствует абстрактный обобщающий образ, который в нашем случае представлен часовым механизмом (часами), современным компьютером и современными средствами связи в виде мобильного телефона. Все эти предметы обихода современного человека являются техническими системами, имеющими сложную иерархическую структуру. Они показаны на фоне развивающегося человека, придавая термину «система» не только технические и физические характеристики, но еще и интеллектуальные, и биологические. Кроме того, эволюционное развитие человека символизирует создание социальных систем, государственных структур и т.д.



Рис. 1.5. Иллюстрация процесса смыслообразования с использованием семантического треугольника

Выше было отмечено, что сигнификат данного треугольника имеет многозначность, что приводит к определенным трудностям изложения сути теории систем.

Приведем определение термину «система» из энциклопедического издания [8].

**Система** - множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство.

Ключевыми словами данного определения являются «множество», «элемент», «отношение», «связь», «целостность» и «единство». По своей сути, толкование и раскрытие этих терминов составляет содержание знаний о существующих системах и их свойствах. Приведенное определение термину «система» тесно связано с определением понятия «закон», так как именно через тенденции, законы и закономерности можно изучать эволюционное развитие систем, какими бы они не были, техническими, биологическими или социальными (см. рис. 1.5).

Воспользуемся апробированным лексикографическим произведением [9], где приводятся три определения термину «закон» в различных предметных областях.

**Закон** – связь и взаимозависимость, каких-либо явлений объективной действительности (законы развития природы и общества).

**Закон** – постановление государственной власти (Конституция, кодексы законов о семье, уголовный кодекс и др.).

**Закон** – общеобязательное правило, то, что признается обязательным (Государственные планы, стратегии развития и т.д.).

Введем в терминологическую систему еще два фундаментальных понятия, без которых сложно создать целостный образ Мира систем их многообразия и развития. Такими понятиями являются интеллект и ноосфера.

Для определения термина «интеллект» воспользуемся авторитетной энциклопедией «Британика» [10], где дана следующая формулировка этому термину.

**Интеллект** - качество психики, состоящее из способности адаптироваться к новым ситуациям, способности к обучению на основе опыта, пониманию и применению абстрактных концепций, и использованию своих знаний для управления окружающей средой.

Из определения видно, что оно семантически тесно связано с еще одним фундаментальным понятием – «ноосфера».

**Ноосфера** - сфера разума; сфера взаимодействия общества и природы, в границах которой разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития (эта сфера обозначается также терминами «антропосфера», «биосфера», «биотехносфера») [11].



В самом обобщенном виде схему взаимодействия общества с природой (человека с природой), приводящего к изменению, как природы, так и общества покажем схематично на рис. 1.6.

На схеме (см. рис. 1.6) изображены в обобщенном виде три основных компонента ноосферы – материальные системы и связанные с ней процессы и явления, с одной стороны, а с другой, абстрактные и идеальные системы формально или вербально описывающие эти материальные системы, процессы и явления. Третьим компонентом представлена интеллектуальная деятельность людей, способных обучаться, создавать абстрактные модели изменяющего мира и делать его лучше и совершеннее. По сути уже на этапе формулировок основных понятий, выделены два класса систем – материальные и абстрактные.

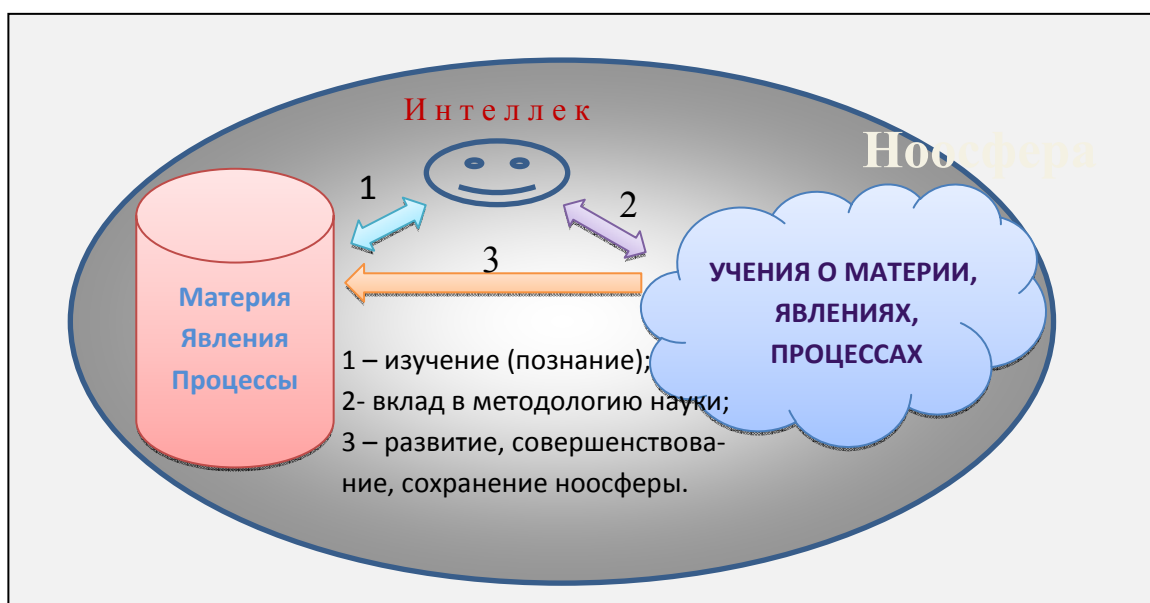


Рис. 1.6. Обобщенная схема развития общества и природы

Приведем пример соответствия материальной системы ее абстрактному описанию, позволяющему глубже понимать происходящие в ней процессы и явления. На рис. 1.7 в левой части изобразим высшую школу, как совокупность вузов с соответствующей системой управления и администрирования, а в правой части методологические основы педагогики высшей школы.



Абстрактные системы представляют собой основы методологии науки, эволюция которых показана в работе [1]. Они как система учений о методах, методиках и средствах познания мира будут рассмотрены ниже

Высокий уровень обобщения рассматриваемых систем обуславливает рассмотрение их свойств. Одним из фундаментальных свойств систем является порядок и структура их построения. В глобальном понимании различают макро- и микромир систем, между которыми существует бесконечное множество промежуточных систем с их бесконечным множеством состояний.

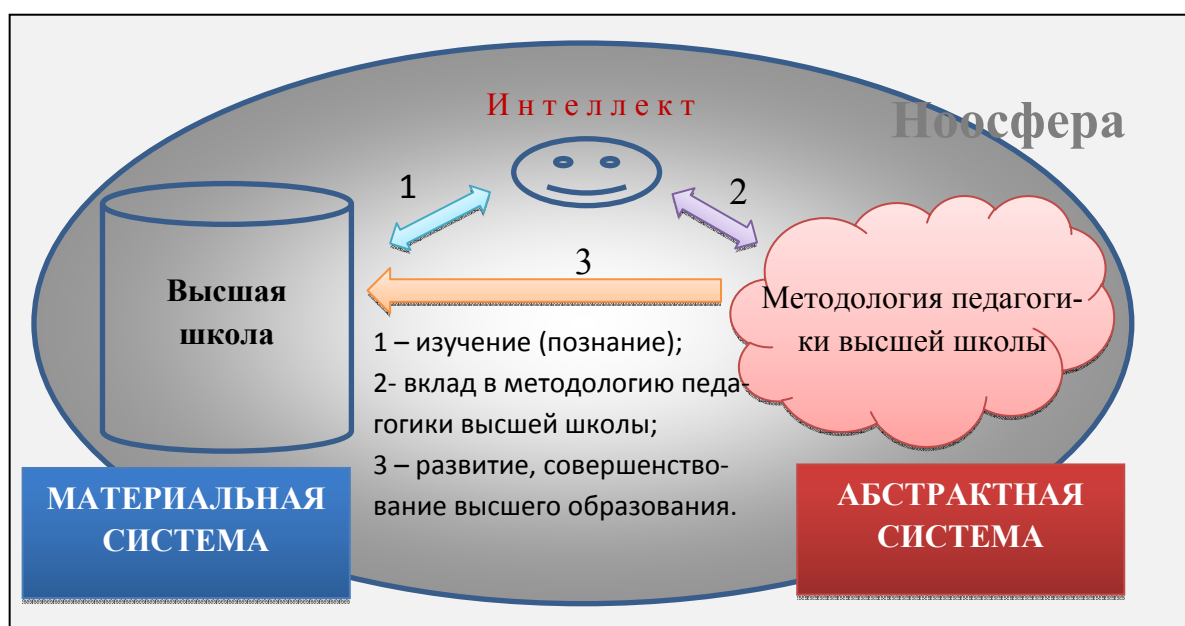


Рис. 1.7. Пример материальной и абстрактной систем с высоким уровнем обобщения

Поэтому одним из основных свойств систем считается иерархичность. Отсюда и возникают специальные понятия, которые задают порядок в описании иерархии систем. Например, атомарный элемент, элемент, (компонент), подсистема (комплекс подсистем), система (надсистема), глобальная система (мировая система). При решении практических задач с большим числом уровней иерархии, каждому из уровней присваивается численное значение.

**Атомарный элемент** – не делимая часть системы.

**Элемент** - самостоятельная часть, являющаяся основой чего-либо, например, системы или некоторого множества объектов.

**Подсистема** - это система, которая входит в другую систему как элемент.

**Глобальная система** - система мирового масштаба.

Одним из элементов высшей школы можно считать персональный компьютер (ПК), который используется в учебном процессе. Тогда одним из промежуточных уровней в иерархической структуре высшей школы можно считать ПК как материальную систему и ее математическое и программное обеспечение абстрактной. Проиллюстрируем это рис. 1.8.

Вместе с тем, материальная система в виде технических средства ПК имеет свою структуру, которая показана в работе [1] и здесь же более детально представлена структура математического обеспечения (операционная система ПК). Покажем еще на одном примере пару «материальная система – абстрактное представление» из области машиностроения. Основу машиностроения составляют системы передачи движения. На рис. 1.9 показан пример передаточного отношения зубчатой передачи некоторого механизма. Здесь в механические отношения вступают два зубчатых колеса (шестеренки). Одно из них, которое сообщает движение парному зубчатому колесу, называется ведущим, а зубчатое колесо, которому сообщается движение, называется ведомым.

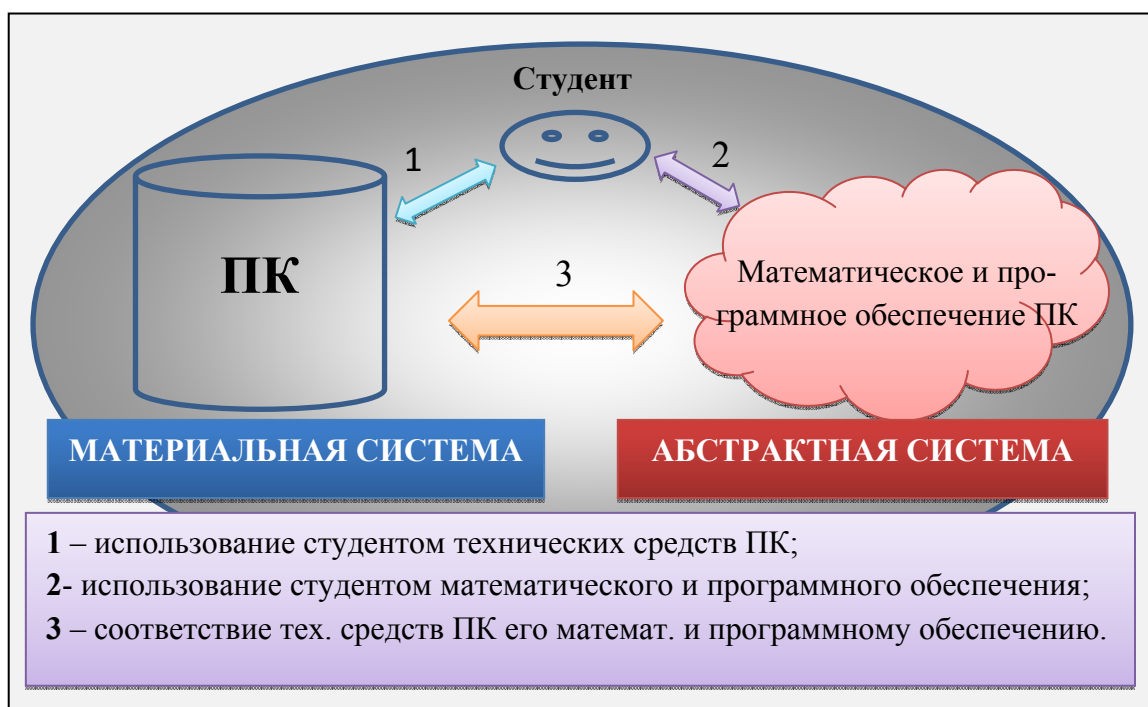


Рис. 1.8. Пример материальной и абстрактной системы на одном из промежуточных уровней иерархии системы высшая школа

Из курса теоретической механики известно, что это передаточное отношение можно представить некоторой формальной (абстрактной) системой знаков (формул)

$$i = i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

$$i = \frac{1}{z_1/z_2} = \frac{z_2}{z_1},$$

где  $\omega_1, \omega_2$  – угловые скорости ведущего и ведомого колес, соответственно,  $n_1, n_2$  – частота вращения ведущего и ведомого колес, соответственно,  $z_1, z_2$  – число зубьев ведущего и ведомого колес, соответственно.

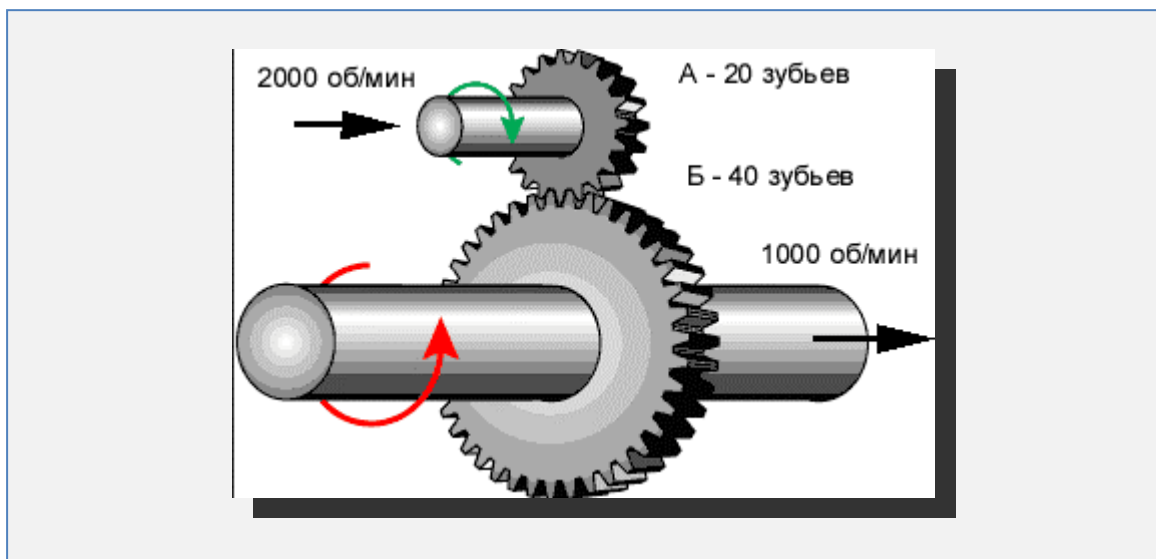


Рис. 1.9. Иллюстрация передаточного отношения зубчатой передачи некоторого механизма

У некоторых обучающихся может возникнуть вопрос, а какое отношение имеет приведенный пример к обучающей системе или высшей школы в целом. Ответим на этот вопрос после того как изучим определение, что есть единство (целостность). В электронном ресурсе [12] термин «единство» трактуется как взаимосвязь определенных предметов, процессов, которая образует целостную систему взаимодействия, внутренне устойчивую в изменениях и в то же время включающуюся в более широкую систему, в конечном счете, - в составе бесконечного во времени и про-

странстве мира. И в этом определении подчеркивается дуализм систем, т.е. их материальная и идеальная стороны. Материализм рассматривает единство мира, единство всех многообразных явлений как факт, который доказывается всей историей познания и деятельности людей в их материальности, а идеализм объясняет единство явлений только как идеальное единство, как результат *целесообразной* деятельности человека (духа, Бога).

Ответим теперь на ранее поставленный вопрос, встречным вопросом, а может ли высшая школа как система целенаправленно и полноценно работать без транспортных средств, в основу которых положены механизмы передачи движения, подъемных средств (лифтов различного назначения), электрических двигателей с соответствующими редукторами, компрессорами, насосами, механически настраиваемых приборов и т.д.

Термин «связь» может, употребляется в прямом смысле как средства связи (материальные) и в отдельных случаях может синонимически заменять термин «отношение».

Следует отметить, что в образовательных системах организуются особые абстрактные отношения, такие как «быть преподавателем», «быть студентом», «быть администратором вуза» и т.д. Эти абстрактные отношения упорядочиваются, систематизируются (детерминируются), во-первых, иерархией Законов Украины об образовании, во-вторых, уставами и инструкциями вузов, в-четвертых, образовательными стандартами и другими нормативными документами. Данные отношения также как и элементы сложной системы могут иметь сложную структуру и являются функцией времени. Например, отношение «быть преподавателем» состоит из множества отношений, обусловленных должностными обязанностями, которые заданы Законом Украины о высшем образовании и другими нормативными документами. Они предусматривают, в основном три виды отношений, учебные между преподавателями и студентами, отношения «быть ученым» и отношение «быть воспитателем».

Обобщая вышесказанное, сделаем вывод о том, что связи в сложных системах тоже можно классифицировать. Выделим два критерия:

- по степени гибкости (жесткие – неизменные; гибкие – изменяющиеся);
- по степени важности для выполнения системой своих функций (системообразующие – функционально необходимые; дополнительные - по-

вышающие качество и эффективность работы системы; избыточные, противоречивые – ухудшающие работу системы).

### 1.4 Свойства систем

Обобщим сказанное выше и выделим основные свойства сложных систем.

**Ориентированность** - зависимость каждого элемента системы от его места, функций внутри целого.

**Конфигурируемость** - способность изменения структур элементов и подсистем сложной системы с целью оптимизации ее работы, повышение функциональных возможностей и эффективности функционирования в целом.

В качестве примеров конфигурируемой структуры системы высшего образования можно привести, например, изменение структуры департамента высшего образования (министерский уровень) объединение высших учебных заведений и ликвидация не прошедших аккредитации вузов (региональный уровень), реформирование структуры вузов (уровень вуза), реструктуризация факультетов и кафедр (уровни факультетов и кафедр) и т.д. Порядок установления данного свойства определен Законом Украины о высшем образовании.

**Взаимосвязанность структуры и среды** - формирование и проявление свойств системы в процессе ее взаимодействия со средой. При этом система должна быть ведущим активным компонентом взаимодействия.

Примерами реализации этих свойств является организация связей с общественностью, т.е. паблик рилейшнз (PR). Возможные методы, мероприятия и процедуры организации вузом PR изложены в работе [1].

**Иерархичность** - наличие нескольких уровней, при которых каждый компонент системы можно рассматривать как отдельную систему, а первичную систему - как один из компонентов более широкой, глобальной системы. Данное свойство частично показано в этом подразделе. Полную иерархия образовательной системы государства приведена в разделе «Системы и образование» работы [1].

**Множественность описания** - ввиду сложности любой системы (в том числе системы «высшая школа Украины») ее познание требует по-

строения множества моделей, каждая из которых отражает лишь определенный аспект ее функционирования.

Другими словами, многообразие элементов и разновидностей связей между этими элемент в сложной системе предполагает и многообразие языков формального представления процессов и явлений в ней протекающих. Детально, роль и место языка в образовании изложено в работе [1].

**Физическая неоднородность и большое число элементов.** Данное свойство характерно современным государственным образовательным системам, имеющих миллионы элементов (субъектов) и большое многообразие социально-технических, экономических и других отношений.

**Многофункциональность** - способность к реализации некоторого множества функций (обороноспособность, продовольственная и экологическая безопасность, образование, наука и т. д.) заданной структуры.

**Непрерывность функционирования и развития.** Данное свойство в образовательных системах имеет свою специфику и будет рассмотрено ниже.

**Надежность** - свойство сохранения структуры систем, несмотря на гибель отдельных ее элементов с помощью их замены или дублирования, а **живучесть** - как активное подавление вредных качеств. Таким образом, надежность является более пассивной формой, чем живучесть.

**Адаптируемость** - свойство изменять поведение или структуру с целью сохранения, улучшения или приобретение новых качеств в условиях изменения внешней среды. Обязательным условием возможности адаптации является наличие обратных связей.

**Эффективность** - способность к достижению поставленных целей за определенный период времени при использовании определенного количества ресурсов и возможном наличии отдельных специфических ограничений. Эффективность определяет соответствие между реально полученными (фактическими) и требуемыми результатами целенаправленной деятельности (функционирования) сложной системы. По сути, определяет степень достижения цели.

**Эмерджентность** - несводимость свойств отдельных элементов к свойствам системы в целом.

**Гибкость** - свойство изменять цель и параметры функционирования в зависимости от условий функционирования (адаптация) или состояния подсистемы (живучесть). Гибкость обеспечивается избыточностью эле-

ментов и обратной связью. Гибкое управление обеспечивает возможность изменения функций и структуры системы и ее параметров.

**Устойчивость** - способность системы противостоять внешним возмущающим воздействиям. От нее зависит продолжительность жизни системы.

#### *Уникальные свойства системы «высшая школа Украины»*

**Обучение многих многими** – формирование у студентов системы профессиональных знаний, умений и навыков многими преподавателями в соответствии с образовательными стандартами.

**Формирование у студентов способности к самообучению.** Способность студентов самостоятельно формировать структуру учебных целевых установок и достигать их в любых условиях.

**Формирование образованного и воспитанного человека.** Способность формирования у студентов человеческих качеств, направленных на созидание, развитие общества, патриотических чувств и любви к отечеству.

**Формирование новых знаний.** Данное свойство проявляется в процессе научно-исследовательской деятельности, как преподавателей, так и студентов.

**Самоорганизация и самосовершенствование** – способность системы (высшего учебного заведения) в условиях научно-технической и информационно - коммуникационной революций вырабатывать решения на создание новых перспективных специальностей и специализаций, создавать соответствующие учебные планы и внедрять их учебный процесс. Кроме того, способность инициативных преподавателей совершенствовать учебные дисциплины на основе новых знаний, полученных из различных источников и различными методами.

**Интеллектуальность основных элементов** – способность к обучению и самообучению субъектов (элементов) образовательной системы.

**Дискретно-циклический характер функционирования.** Способность повторять обучение с заданной дискретностью 4 и 5 лет (подготовка бакалавров, специалистов и магистров).

**Контроль и самоконтроль качественного состояния вузов.** Способность контролировать состояние системы на разных уровнях ее иерархии. Это свойство, обеспечивается специальными диагностическими про-

цедурами и мероприятиями, например, лицензированием и аккредитацией вузов, а также отдельных специальностей (уровень факультетов и кафедр). Кроме того, организацией открытых и показательных занятий, взаимным посещением занятий научно-педагогическими работниками, ректорских контрольных и т.д.

Таким образом, рассмотрены основные термины и понятия основ теории систем. Показано, что сложность систем обуславливается многообразием составляющих ее элементов и подсистем, а также сложностью и разнообразием отношений между элементами. Выделены основные свойства сложных систем, а также приведены специальные свойства, которые характерны системе «высшая школа Украины».

### **1.5 Система как объект исследования. Классификация систем**

Любая система может являться объектом исследования. Как отмечается в работе [1] под объектом исследования понимается предметная область. В данном случае объектом исследования будем считать материальный объект, процесс или явление (см. рис. 1.6), который без уточнения свойств и особенностей является нечетким и размытым понятием. Именно для придания понятию «система» большей конкретики, четкости, снижения неопределенности объекта исследования необходима классификация систем по определенным признакам или критериям. Кроме того, классификация систем позволяет сделать выбор языка описания или формального представления систем, а также методов и способов их исследования.

**Классификацией** называется разбиение на классы по наиболее существенным признакам. Под классом понимается совокупность объектов, обладающая некоторыми признаками общности. Признак (или совокупность признаков) является основанием (критерием) классификации.

Схематично, используя высокий уровень обобщения систем, покажем на рис. 1.10 мир систем, на множестве и многообразии которых выделим сложные и простые системы.

**Простыми** называют системы, не имеющие разветвленных структур, состоящие из небольшого количества взаимосвязей и небольшого количества элементов. Такие элементы выполняют простейшие функции, в них нельзя выделить иерархические уровни. Отличительной особенностью



простых систем является детерминированность (четкая определенность) номенклатуры, числа элементов и связей как внутри системы, так и со средой.

**Сложными** называют системы с большим числом элементов и внутренних связей, их неоднородностью и разнокачественностью, структурным разнообразием, выполняющие сложные функции или множество функций. Компоненты сложных систем могут рассматриваться как подсистемы, каждая из которых может быть детализирована еще более простыми подсистемами и т.д. до тех пор, пока не будет получен элемент.

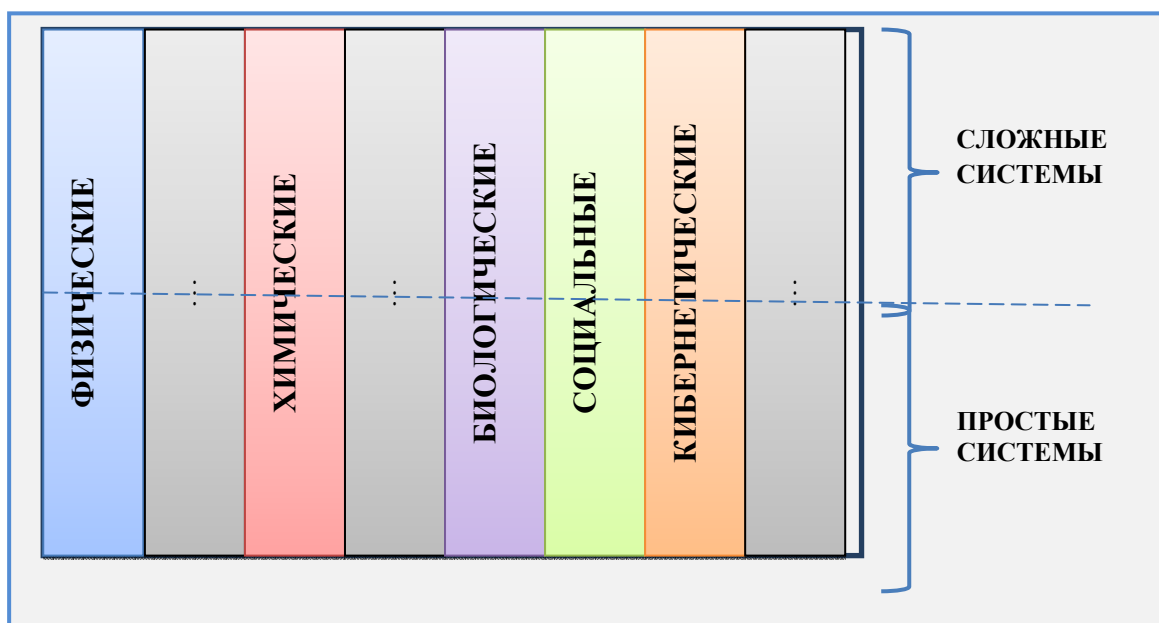


Рис. 1.10. Представление мира систем простыми и сложными системами

Сложные системы можно подразделить на следующие факторные подсистемы:

- управляющие (решающие), которые принимают глобальные решения во взаимодействии с внешней средой и распределяют локальные задания между всеми другим подсистемами;
- информационные, которые обеспечивают сбор, переработку и передачу информации, необходимой для принятия глобальных решений и выполнения локальных задач;
- гомеостазные, поддерживающие динамическое равновесие внутри систем и регулирующие потоки энергии и вещества в подсистемах;

- адаптивные, накапливающие опыт в процессе обучения для улучшения структуры и функций системы.

В образовательной системе государства на самом высоком уровне обобщения выделяют следующие подсистемы:

- дошкольного образования;
- полного среднего образования;
- профессионально-технического образования;
- внешкольного образования;
- высшая школа;
- последипломного образования.

Детерминантами названных подсистем являются соответствующие законы, которые составляют правовое обеспечение национальной системы образования Украины [1].

Как правило, сложные системы являются большими. Основным признаком больших систем является не наблюдаемость всей системы с позиций одного наблюдателя во времени или в пространстве.

Система может быть большой и сложной. Сложные системы объединяет более обширную группу систем, то есть большие являются подклассом сложных систем.

Большими системами называют системы, результат функционирования которых в пространстве и времени невозможно наблюдать одному человеку или группе людей.

Представим в табл. 1.1 одну из классификаций систем.

Приведенные в табл. 1.1 критерии и классы систем могут быть дополнены и образовывать системы, у которых имеются признаки многих классов. Такие системы будем относить к классу комбинированных систем.

В теории систем выделяют два важных класса материальных (реальных) систем. Это естественные и искусственные системы. Поставим в соответствие этим классам систем абстрактные системы, которые их описывают, используя при этом математические языки, которые тоже являются некоторыми системами. На рис. 1.11 показано это соответствие.

Класс естественных систем составляют подклассы систем неживой (физические, химические) и живой (биологические) природы.

Таблица 1.1. Классификация систем

Основание (критерий) классификации	Классы систем
<b>По назначению</b>	Производящие Управляющие Обслуживающие Обучающие
<b>По взаимодействию с внешней средой</b>	Открытые Закрытые (изолированные) Смешанные
<b>По структуре</b>	Простые Сложные Большие
<b>По характеру функций</b>	Специализированные Многофункциональные (универсальные)
<b>По характеру развития</b>	Стабильные Развивающиеся
<b>По степени организованности</b>	Хорошо организованные Плохо организованные (диффузные)
<b>По сложности поведения</b>	Автоматические Автоматизированные Решающие Самоорганизующиеся Прогнозирующие Превращающие
<b>По характеру связи между элементами</b>	Детерминированные Стохастические
<b>По характеру структуры управления</b>	Централизованные Децентрализованные Смешанные
<b>По характеру функционирования</b>	Непрерывно функционирующие Дискретно функционирующие
<b>По динамике функционирования</b>	Статические Динамические (гомеостазные)

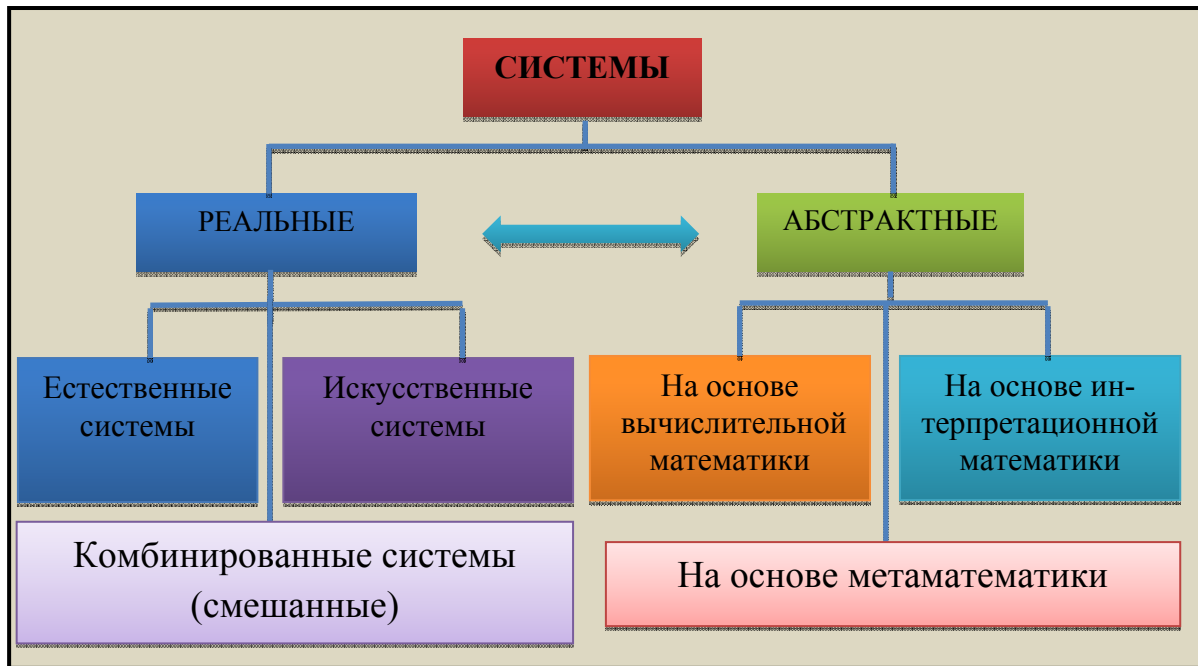


Рис. 1.11. Обобщенная схема соответствия класса реальных систем абстрактным системам

Класс искусственных систем создается человечеством для своих нужд или образуются в результате целенаправленных усилий человека.

В свою очередь искусственные системы образуют подклассы технических (технико-экономических) и социальных (общественных) систем. Технические системы также имеют свою классификацию. Например, этот класс содержит механические, электронные, электромеханические и другие подклассы систем. Большой класс составляют человеко-машинные или эргодические системы, которые образуются путем объединения технических систем с человеком (биологической системой). Примерами человеко-машинных систем могут быть системы «водитель – автомобиль», «летчик – самолет», «пользователь – ПК» и т.д. Особенностью таких систем является то, что в их основе находится человек, которого можно самостоятельно рассматривать как биологическую интеллектуальную систему, состоящую из множества биологических подсистем, например, опорно-двигательной, кровеносной, нервной, лимфатической и других подсистем.

Большие и сложные системы, использующие технические средства, инструменты, приборы и т.д. называют организационно-технические системы. Детализируем рис. 1.11 и покажем на рис. 1.12 иерархию искусственных, естественных и смешанных систем.

Воспользуемся приведенной выше классификацией (см. табл. 1.1) и определим, к какому классу можно отнести систему образования государства. В дальнейшем будем использовать термин «образовательная система» с аббревиатурой «ОС».

*Основными функциями* системы образования являются обучение и воспитание. В этом смысле она является уникальной системой и может рассматриваться наряду с другими государственными системами, например, экономической, политической, гуманитарной и другими.

*По взаимодействию с внешней средой* ОС может быть, как открытой, так и закрытой, в зависимости от уровней ее взаимодействия с другими системами. Очевидно, на государственном уровне ОС взаимодействует с экономической системой государства, поставляя в эти системы соответствующие кадры (инженеров, экономистов, медработников и т.д.).

Признаки закрытости ОС можно обнаружить на министерском уровне управления, которая предусматривает специальные отделы, которые называются «сектор спец информации и спец сектор». Отсюда можно сделать вывод о том, что ОС можно отнести к классу смешанных систем.

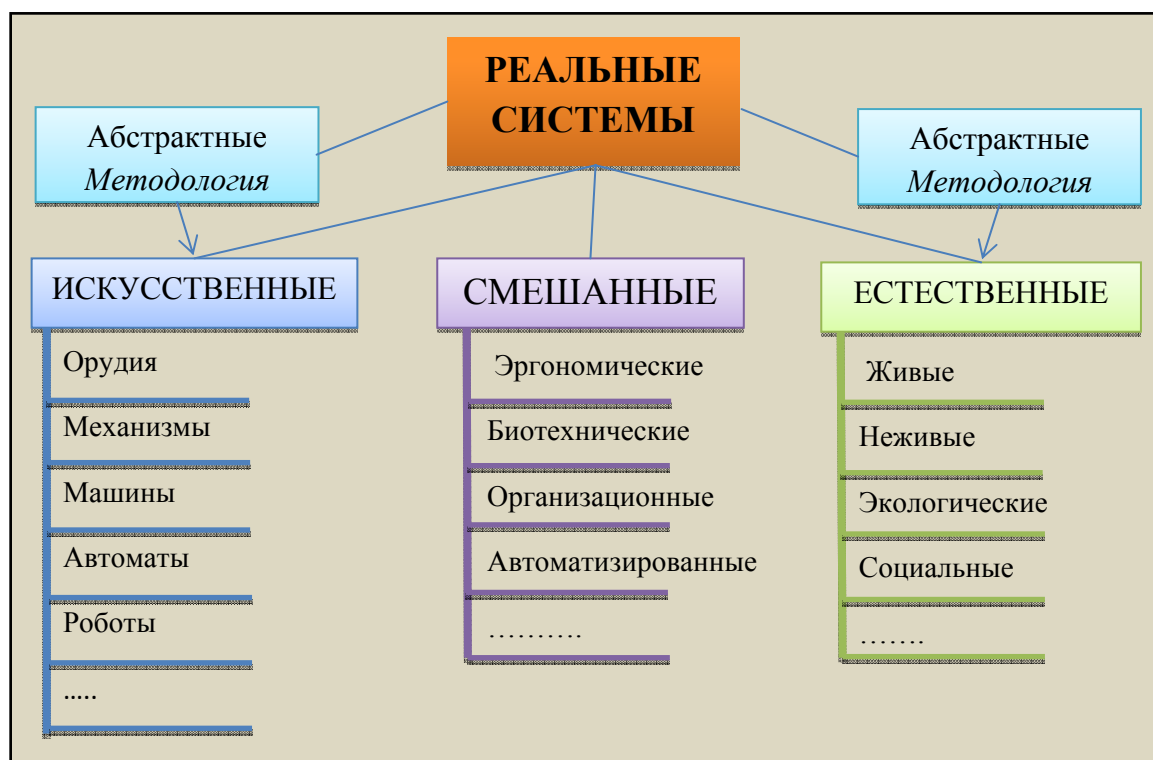


Рис. 1.12. Обобщенная схема реальных естественных, искусственных и смешанных систем

*По структуре* образовательную систему можно охарактеризовать как большую и сложную, если принимать во внимание значительное количество элементов в ее структуре и многообразие связей и отношений, возникающих в процессе обучения, образования и воспитания, а также учитывать законы Украины об образовании, которые действуют на всей территории государства. Большая сложность ОС обусловлена еще и многоуровневой иерархией ее управления и администрирования [1]. Кроме того, на нижнем уровне иерархии ОС можно выделить и класс простых систем, например, состоящих из двух элементов «студент – учебник». В данном случае имеется одно отношение или связь студента и учебника, который изучает конкретный учебный материал. Отсюда можно сделать вывод, что ОС можно считать большой и сверхсложной системой, которая имеет множество структур различной сложности.

*По характеру функционирования* ОС можно отнести к классу комбинированных многофункциональных систем. Обоснуем это утверждение.

Данный критерий непосредственно связан с назначением системы (см. критерий «по назначению»). Известно, что ОС имеет три основные функции – обучение, исследования и воспитания. Кроме того, в подсистеме «высшая школа» имеются множество вспомогательных функций, которые выполняются с целью повышения качества обучения, саморазвития и самоорганизации, например, высших учебных заведений. К ним относятся производственные функции, которые реализуются в учебных производственных подразделениях (учебно-производственных мастерских), например, в политехнических вузах, организация производственных практик на предприятиях, книга печатающее производство и т.д.

*По характеру развития* ОС можно отнести как к классу развивающихся, так и к классу стабильных. Естественные стремления к развитию присущи практически всем классам подсистем ОС. Это стремление вузов повысить уровень аккредитации, повысить статус вуза – стать национальным, исследовательским и т.д. На уровне отдельных субъектов учебного процесса к развитию стремиться научно-педагогические работники, повышая свою ученую степень и звания, а студенты развивают свои способности в решении типовых задач, заданных образовательными стандартами. Вместе с тем, для такого развития нужна и определенная стабильность, заключающаяся в четком функционировании всех подсистем и элементов ОС. Данную стабильность обеспечивают законы Украины об образовании,

устанавливая определенные отношения и связи между элементами и подразделениями ОС. Такой сложный характер развития приводит к тому, что для исследования ОС требуется разработка специальных методов.

*По степени организации* системы подразделяются на два класса (см. табл. 1.1), хорошо организованные и плохо организованные (диффузионные). Организация ОС в настоящее время зависит от законов Украины об образовании и стандартов, регламентирующих образовательные процессы, поэтому к классу плохо организованных систем ОС нельзя отнести. Вместе с тем, к классу хорошо организованных систем существующая ОС не может быть отнесена. Одной из основных причин слабой организации образовательной системы является слабая структуризация законодательного поля (системы), регламентирующего непрерывность образования от дошкольного до последиplomного образования. Кроме того, практика аккредитаций вузов различной формы собственности показывает слабую организацию ОС. Поэтому целесообразно ввести еще один класс по данному критерию, который будем называть системы со слабой организацией.

*По сложности поведения* данный критерий предполагает выделение 6 классов систем. Учитывая колоссальное влияние на ОС и ее развитие глобальных факторов информатизации и интеллектуализации обучения на основе ИТ-технологий, можно утверждать, что данная система имеет признаки всех шести классов (см. табл. 1.1). В научной литературе по кибернетической педагогике такие ОС называются системы с интегрированным интеллектом [13-16].

*По характеру связи между элементами* ОС можно отнести как классу детерминированных, так и к классу стохастических систем. Такое утверждение можно пояснить тем, что, во-первых, процессы обучения и образования имеют детерминированную основу в виде законов об образовании, образовательных стандартах, инструкций и т.д., а во-вторых, они носят субъективный характер, что обуславливает случайный характер возникновения межличностных и учебных отношений. Поэтому уверенно можно говорить, о том, что ОС относится к классу детерминированно-стохастических систем.

*По характеру структуры управления* ОС относится к смешанному типу, так как, с одной стороны, существует централизованное управление, высшим звеном которого является МОН Украины, с другой стороны управление учебными процессами осуществляется на основе создания

учебных планов, разрабатываемых непосредственно кафедрами высших учебных заведений.

*По характеру функционирования* ОС также имеет свои особенности. В таблице 1.1 показано, что системы по этому критерию могут быть непрерывными и дискретными. Однако ОС, выполняющая множество функций может рассматриваться как дискретная, так непрерывно действующая. Здесь непрерывный характер функционирования ОС обеспечивают, такие ее подсистемы, как система обеспечения жизни деятельности, информационная подсистема и другие подсистемы. Вместе с тем, учебный процесс можно характеризовать как дискретный, учитывая при этом следующие временные периоды обучения – учебный год, семестр, время проведения одного занятия.

*По динамике функционирования.* Данный критерий классификации ОС тесно связан с предыдущим критерием и это дает основание отнести ее к классу динамических систем.

Таким образом, множество специфических особенностей ОС не позволяет ее отнести к какому-либо конкретному классу. Ее можно охарактеризовать как большую и сверхсложную, комбинированную (естественную + искусственную), организационно-техническую динамическую систему, функционирующую на основе интегрированного интеллекта.

## **1.6 Формальные языки представления и исследования сложных систем**

В предыдущем подразделе показано, что материальным (реальным) системам ставятся в соответствие абстрактные системы, которые представляют собой формальные языки и математические модели описания и исследования сложных систем, их подсистем и элементов.

### *Основные понятия теории множеств*

Теоретико-множественный язык является основой не только дискретной математики, но и математики в целом.

Основатель теории множеств Георг Кантор понятие «множество» определял так: «Под множеством понимают объединение в одно общее объектов, хорошо различимых нашей интуицией или нашей мыслью». Это, довольно расплывчатое понятие уточнила группа выдающихся ученых математиков, выступавших под псевдонимом Никола Бурбаки, которые в



своем Трактате «Начала математики» сформулировали следующее определение: «Множество образовано из элементов, способных обладать некоторыми свойствами и находиться между собой или с элементами других множеств в некоторых отношениях». Заметим, что это определение имеет много общего с определением «система», приведенного в п.п. 1.3.

Множества, как правило, обозначаются заглавными буквами, а их элементы прописными, например, запись  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  обозначает, что множество  $A$  состоит из  $n$  элементов. Например,  $A$  – множество обучающихся в учебной группе, – конкретные обучающиеся учебной группы в количестве  $n$  человек. Более коротко эту же запись можно представить в виде  $A = \{a_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Принадлежность некоторого элемента множеству обозначается символом  $\in$ . В случае если элемент не принадлежит некоторому множеству, используют символ  $\notin$  или  $\bar{\in}$ . Например, обучающийся, значащийся под №2 в журнале ( $a_2$ ) учебной группы  $A$  является отличником. Формально такую ситуацию можно записать  $\{a_2\} = A$ . По аналогии, обучающийся ( $a_{n+1}$ ) отсутствует в списке журнала учебной группы  $A$ . Тогда справедлива запись  $(a_{n+1}) \notin A$ .

Два множества  $A$  и  $B$  равны (тождественны), тогда и только тогда, когда каждый элемент  $A$  является элементом  $B$  и обратно. В этом случае справедлива запись  $A = B$ .

Множество может содержать любое число элементов, в том числе один элемент – единичное (одноэлементное) множество, и вовсе не содержать элементов (пустое множество), которое обозначается символом  $\emptyset$ . Понятие пустого множества в теории множеств аналогично понятию нуля в элементарной арифметике. Это понятие используется для определения заведомо несуществующей совокупности элементов.

Множества могут быть конечными (т.е. состоящими из конечного числа элементов) и бесконечными. Число элементов в конечном множестве, например  $A$ , называют кардинальным числом и обозначают  $\text{Card } A$ . Эквивалентным понятием является понятие «мощность множества», которое обозначается  $|A|$ . В случае с множеством обучающихся в учебной группе  $A$ , справедливы записи  $n = \text{Card } A$  или  $n = |A|$ , где  $n$  – количество обучающихся в учебной группе учащихся.

Важным понятием теории множеств является подмножество. Множество  $A$ , все элементы которого принадлежат и множеству  $B$ , называется подмножеством (частью) множества  $B$ . Такое отношение между элемента-

ми множеств называют строгим включением и обозначают символом  $\subset$  или  $\supset$ , т.е.  $A \subset B$  (элементы  $A$  включены в  $B$ ) или  $B \supset A$  ( $B$  включает  $A$ ). Отношение строгого включения  $A \subset B$  допускает и тождественность ( $A = B$ ), т.е. любое из двух множеств можно рассматривать как подмножество самого себя ( $A \subset A$ ). Считают, что подмножеством любого множества является пустое множество  $\emptyset$ , т.е.  $\emptyset \subset A$ .

Наряду с записью  $A \subset B$  в литературе встречается запись  $A \subseteq B$ , что обозначает нестрогое включение элементов подмножества  $A$  в множество  $B$ . В этом случае равенство между  $A$  и  $B$  не допускается. Иллюстрацией отношения включения может служить ситуация, когда конкретный обучающийся, например,  $a_{n+1}$  переходит из одной учебной группы (составляющих множество  $B$ ) в другую (составляющую множество  $A$ ) и его фамилию исключают из одного списка учебного журнала и помещают в другой. Тогда справедлива запись  $\{a_{n+1}\} \subset A$ ,  $\{a_{n+1}\} \not\subset A$ , где знак  $\not\subset$  соответствует отношению исключения.

Отметим различия между отношением принадлежности и отношением включения. Уже отмечалось, множество  $A$  может быть своим подмножеством ( $A \subset A$ ), но оно не может входить в состав своих элементов ( $A \notin A$ ). Даже в случае одноэлементного подмножества различают множество  $A = \{a\}$  и его единственный элемент « $a$ ». Отношение включения обладает свойством транзитивности: если  $A \subset B$  и  $B \subset C$ , то  $A \subset C$ . Отношение принадлежности этим свойством не обладает.

Большое значение при формализации предметной области на теоретико-множественном языке играет способ задания множеств. Существует несколько способов задания множеств. Самый элементарный способ задания множества заключается в простом перечислении его элементов, как это было показано выше. Другой способ задания множества состоит в описании его элементов с указанием их общих свойств. В данном случае при формализации используют следующие записи  $X = \{x | P(x)\}$  или  $X = \{x : P(x)\}$ , где  $P(x)$  в теории множеств называется формой, которая указывает на свойства элементов  $x$ .

Фундаментальным в теории множеств является понятие основного множества (универсума), которое обозначается буквой  $U$ . Оно служит для того, чтобы ограничить совокупность допустимых объектов в процессе формализации предметной области. Например, в исследуемой предметной области из множества взрослого населения ( $U$ ) можно выделить множество

людей занятых в сфере образования, из множества учебной литературы (U) можно выделить множество методической литературы, используемой для подготовки специалистов в технических вузах и т.д. Другими словами, универсумом определяются рамки задания соответствующих множеств.

### *Операции над множествами*

Часто в процессе формализации используют способ задания множества посредством операций над другими множествами. Для иллюстрации операций над множествами будем использовать графические образы в виде кругов Эйлера.

**Объединение (сумма)**  $A \cup B = C$ , есть множество всех элементов, принадлежащих A или B (см. рис.1.13). Например, для выполнения научно - исследовательской работы из учебных групп, составляющих множества обучаемых A и B были отобраны отличники  $\{a_1, a_2, a_3\}$  и  $\{b_2, b_3, b_4\}$  соответственно, которые составили научно-исследовательскую группу C. Формальная запись такой ситуации будет иметь следующий вид

$$\underbrace{\{a_1, a_2, a_3\}}_A \cup \underbrace{\{b_2, b_3, b_4\}}_B = \underbrace{\{a_1, a_2, a_3, b_2, b_3, b_4\}}_C.$$

Видно, что любой обучающийся составляющий группу C принадлежит хотя бы одной из учебных групп A или B.

**Пересечение (произведение)**  $A \cap B = C$  есть множество всех элементов, принадлежащих одновременно как множеству A, так и B (см. рис. 1.13). Например, кафедра имеет две предметно-методические комиссии, которые составляют соответствующие множества  $A = \{a_1, a_2, a_3\}$  и  $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4\}$  научно-педагогических работников. В первой предметно-методической комиссии, имеется высококвалифицированный преподаватель  $a_3$ , а во второй  $b_1$ , которые могут с высоким качеством проводить занятия по всем учебным дисциплинам кафедры, не зависимо от того к какой предметно-методической комиссии они принадлежат.

Формально такую ситуацию запишем в следующем виде

$$\underbrace{\{a_1, a_2, a_3\}}_A \cap \underbrace{\{b_1, b_2, b_3, b_4\}}_B = \underbrace{\{a_3, b_1\}}_C.$$

Показательным примером операции пересечения в педагогической практики является дублирование учебного материала по различным дис-

циплинам, т.е. один и тот же материал по сущности (может быть разный по форме изложения) составляет учебные вопросы разных дисциплин, что приводит к необоснованным затратам учебного времени.

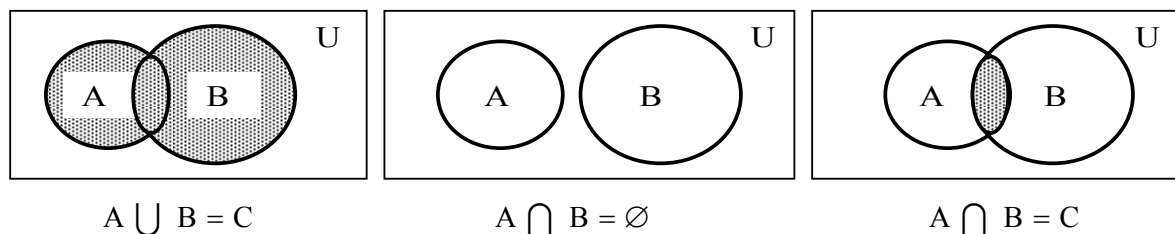


Рис. 1.13. Графическая интерпретация кругами Эйлера операций объединения, непересечения и пересечения множеств

Операции объединения и пересечения множеств обладают свойствами коммутативности и ассоциативности и, следовательно, их можно выполнять последовательно для нескольких множеств, причем порядок следования множеств не влияет на результат. В таком случае справедлива обобщающая запись операций объединения и пересечения множеств. Например,

$$A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n = \bigcup_{i=1}^n A_i, \quad B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_n = \bigcap_{i=1}^n B_i.$$

**Разность**  $A \setminus B = C$ , есть множество, состоящее из всех элементов  $A$ , не входящих в  $B$ . (см. рис. 1.13). Например,  $C$  – множество дисциплин учебного плана имеющих логическую связь друг с другом, за исключением двух выборочных  $b_3, b_8$ . Формально можно записать.  $A = \{a_i\} \quad i = \overline{1, 53}$  – множество дисциплин принадлежащих учебному плану, кардинальное число которого равно 53 (мощность множества  $\|A\| = 53$ );  $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4\}$  – множество выборочных учебных дисциплин того же учебного плана ( $\|B\| = 12$ ). В развернутом виде разность множеств имеет вид

$$\underbrace{\{a_1, a_2, \dots, a_{53}\}}_A \setminus \underbrace{\{b_1, b_2, b_3, \dots, b_{12}\}}_B = \underbrace{\{b_3, b_8\}}_C.$$

Следует отметить особенности рассматриваемой операции. Во-первых, в отличие от операций объединения и пересечения множеств, операция разность строго двухместна, т.е. определена только для двух множеств. Во-вторых, некоммукативная, т.е.  $A \setminus B \neq B \setminus A$ . Если  $A \setminus B = \emptyset$ , то  $A \subseteq B$ .

**Дизъюнктивная сумма** (симметрическая разность)  $A \oplus B = C$  есть множество всех элементов, принадлежащих или  $A$  или  $B$ , но не обоим вместе (см. рис. 1.14).

Дизъюнктивная сумма получается объединением элементов множеств за исключением тех, которые встречаются дважды. Например, преподаватель, проверяя множество контрольных работ, классифицирует их по вариантам  $A$  и  $B$ . Работы, содержащие признаки вариантов  $A$  и  $B$  преподаватель не проверяет, а выставляет сразу неудовлетворительную оценку.

Формально такая ситуация записывается в следующем виде  $A = \{a_1, a_2, a_3^*, a_4, a_5\}$  - множество контрольных работ, ответы которых должны соответствовать варианту  $A$ , где элемент множества  $a_3^*$  содержит признаки ответов варианта  $B$ ;

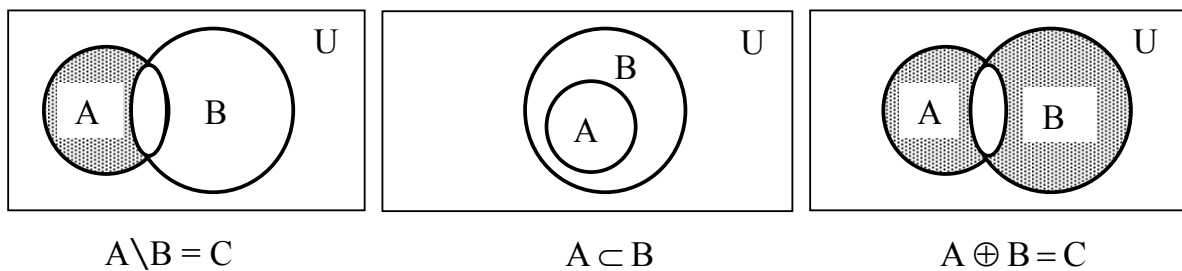


Рис. 1.14. Графическая интерпретация кругами Эйлера операций разности, дизъюнктивной суммы и отношения включения

$B = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5^*, b_6\}$  - множество контрольных работ, ответы которых должны соответствовать варианту  $B$ , где элемент  $b_5^*$  содержит признаки ответов варианта  $A$ . Тогда справедлива запись

$$\underbrace{\{a_1, a_2, a_4, a_5\}}_A \oplus \underbrace{\{b_1, b_2, b_3, b_4, b_6\}}_B = \underbrace{\{a_1, a_2, a_4, a_5, b_1, b_2, b_3, b_4, b_6\}}_C.$$

Приведенные выше операции над множествами обладают некоторыми свойствами. Свойства операций объединения и пересечения приведены ниже.

$A \cup B = B \cup A$  - коммутативность операции объединения;

$A \cap B = B \cap A$  - коммутативность операции пересечения;

$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$  - ассоциативность операции объединения;

$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$  - ассоциативность операции пересечения;

$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$  - дистрибутивность операции объединения;

$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$  - дистрибутивность операции пересечения;

$A \cup \emptyset = A$ ;  $A \cup \bar{A} = U$ ;  $A \cup U = U$ ;  $\bar{\emptyset} = U$  - соотношения, определяющие свойства пустого множества  $\emptyset$  и универсума  $U$  относительно операции объединения;

$A \cap U = A$ ;  $A \cap \bar{A} = \emptyset$ ;  $A \cap \emptyset = \emptyset$ ;  $\bar{U} = \emptyset$  - соотношения, определяющие свойства пустого множества  $\emptyset$  и универсума  $U$  относительно операции пересечения;

$A \cup A = A$ ;  $A \cap A = A$  - законы идемпотентности относительно операции объединения и пересечения;

$A \cup (A \cap B) = A$ ;  $A \cap (A \cup B) = A$  - законы поглощения относительно операций объединения и пересечения;

$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$ ;  $\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$  - законы де Моргана относительно операций объединения и пересечения.

Свойства операций разности и дизъюнктивной суммы специальных названий не имеют, и определяются следующими соотношениями.

$$\bar{A} = U \setminus A; \bar{\bar{A}} = A; A \setminus B = A \cap \bar{B}; A \oplus B = (A \cap \bar{B}) \cup (\bar{A} \cap B);$$

$$A \oplus B = B \oplus A; (A \oplus B) \oplus C = A \oplus (B \oplus C); A \oplus \emptyset = \emptyset \oplus A = A.$$

Приведенные выше операции над множествами и их свойства являются основой алгебры множеств. Алгебра множеств относительно операций объединения  $\cup$  и пересечения  $\cap$  является булевой алгеброй, где роль единицы и нуля играют соответственно универсум  $U$  и пустое множество  $\emptyset$ , а операции отрицания соответствует дополнение до универсума.

### *Основные понятия алгебры отношений*

Из определения понятия «множество», сформулированного Н. Бурбаки, видно, что отношения между элементами множеств имеют основополагающее значения в теории множеств, а также в теории систем. Поэтому для усиления описательных возможностей теоретико-множественного языка многие математики используют алгебру отношений. Кроме того, алгебра отношений позволяет решать задачи формализации не только хорошо структурированных – математических задач, используя при этом строгие отношения, такие как равно ( $=$ ), больше ( $>$ ), меньше ( $<$ ), включение

( $\subset$ ) и др., но и слабоструктурированные, связанные со сложными межличностными отношениями, например, между преподавателем и обучающимися («быть преподавателем»), между преподавателями и администрацией вуза («быть начальником» или «быть подчиненным») и др. Последние отношения называют родовидовыми.

Понятие «отношение» является философской категорией и объединяет такие понятия как «соответствие», «отображение», «функция».

Соответствие между множествами  $A$  и  $B$  называется подмножеством, которое записывается в виде  $G \subseteq A \times B$ , что обозначает подмножество пар  $(a, b) \in G$ . Такие отношения называются бинарными. В литературе встречается и другая запись бинарных отношений, например,  $(a G b)$ . Элемент « $a$ » называют первой координатой, а элемент « $b$ » - второй координаты упорядоченной пары.

Элементарным примером бинарных отношений может служить отношение обучающихся к знаниям по конкретной учебной дисциплине, выраженных в оценках, полученных ими в течение семестра. Обозначим  $A = \{a_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  – множество обучающихся в учебной группе в количестве  $n$  человек,  $B = \{b_j\}$ ,  $j = \overline{1, h}$  – множество оценок в количестве  $h$ , полученных обучающимися за семестр (будем различать два класса оценок – удовлетворительных и неудовлетворительных),  $G$  – множество пар  $(a_i, b_j)$ , которое ставит в соответствие каждого обучающегося оценкам, полученным в семестре. В данном случае учебный журнал можно интерпретировать как матрицу отношений, ставя на пересечении строк (фамилий обучающихся) и столбцов (порядковый номер контрольного занятия, где всем обучающимся выставляются оценки) «1», если обучающийся имеет удовлетворительные знания и «0», если неудовлетворительные. Такое задание отношений называется матричным. Часто бинарные отношения задают не в виде таблицы (матрицы отношений), а правилами, которые имеют вид:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если выполнено } a_i G b_j, \\ 0, & \text{если не выполнено } a_i G b_j. \end{cases}$$

Другой способ задания бинарных отношений является графический (в виде графа). Здесь точками (вершинами) задаются элементы множества, например,  $A$ , ребрами (линиями соединяющими эти вершины) множество

отношений  $E$ . Такие графы называются неориентированными. Если ребра обозначают стрелками, то их называют дугами. В этом случае графы принимают вид ориентированного или орграфа. Формальная запись графа отношений имеет следующий вид  $G=(A,E)$ .

На рис. 1.15 иллюстрируются декомпозиция сложного отношения «взаимодействие обучающихся в учебной группе», обозначим его  $E$ , на типовые отношения, которые возникают в процессе учебы в вузе. Из рисунка видно, что множество вершин имеют одну природу. В этом случае говорят, что построены графы отношений в множестве  $A$ .

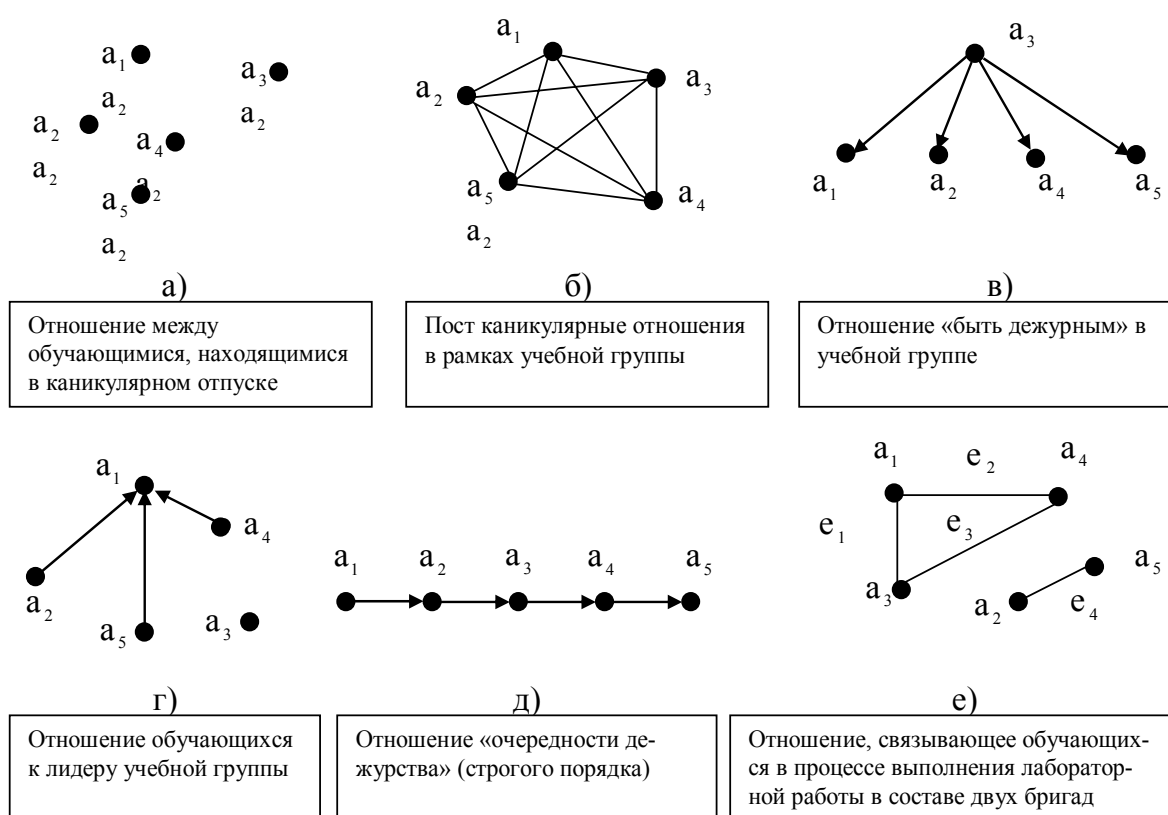


Рис. 1.15. Отношение взаимодействия обучающихся в учебной группе

Дадим краткую характеристику графам отношений, приведенных на рис. 1.15 (а–е).

Характерной особенностью графа (см. рис. 1.15 а) является отсутствие  $E=\emptyset$ , каких либо отношений, связанных с учебной деятельностью обучающихся  $G=(A,\emptyset)$ .



Граф, изображенный на рис. 1.15 б) в теории графов называется «графом Понтрягина-Куратовского». Особенностью этого неориентированного графа является то, что его ребра пересекаются и поэтому он называется неплоским. Плоские графы отношений показаны на остальных рисунках.

На рис. 1.15 в) показан двудольный оргграф. Подобным графом можно интерпретировать, например, отношения преподавателя (Р) с обучающимися (А) на лекционных занятиях. Для этого необходимо вершину  $a_3$  обозначить другой буквой, например «р» и считать, что  $\{p\}=P$  является одноэлементным множеством. В данном случае говорят, что построен граф отношений от Р к А. Рассматриваемым биграфом можно интерпретировать и другие отношения преподавателя с обучающимися, например, на семинарских занятиях. Для этого необходимо поменять одинарные стрелки на двойные, что будет обозначать отношение диалога между преподавателем и обучающимися.

Особенностью графа отношений, (см. рис. 1.15 г) является изолированность вершины  $a_3$ . Такие графы называют несвязными. Граф, изображенный на рис. 1.15 д) отличается от остальных тем, что между его вершинами существует отношение строгого порядка, например, дежурства в соответствии со списком учащихся, приведенном в учебном журнале.

На рис. 1.15 е) изображен граф особенностью, которого является то, что у него имеется два множества связанных вершин, каждое из которых изолированы друг от друга. Такие графы, вершины которых принадлежат одному и тому же множеству, а также дуги множеству однородных отношений, называются частями общего графа или суграфом. В нашем случае  $G'=(A', E')$  - суграф, где  $\{a_1, a_3, a_4\} \subset A'$ ,  $\{e_1, e_2, e_3\} \subset E'$ . Аналогично суграфом является и  $G''=(A'', E'')$ , где  $\{a_2, a_5\} \subset A''$ ,  $\{e_4\} \subset E''$ . Очевидно, что  $\{G', G''\} \subset G$ .

От графического представления отношений в виде графов легко перейти к матричному представлению. В теории графов различают два вида матричного представления графов – матрицами смежности и инцидентности. Матрица смежности представляет собой таблицу строки и столбцы, которой соответствуют вершинам графа, ее  $a_{ij}$  элемент равен числу крат-

ных ребер, связывающих вершины  $a_i$  и  $a_j$  (или направленных от вершины  $a_i$  к вершине  $a_j$  для орграфа).

Очевидно, что в случае (см. рис. 1.15а) матрица смежности равна нулю  $A = \|A\| = \emptyset$ , а в случае (см. рис. 1.15б) единице  $A = \|A\| = 1$ , т.е. их элементы принимают значения «0» или «1» соответственно.

Задание отношений матрицами инцидентности основывается на понятии «инцидентность», которое определяется как отношение между разнородными объектами (вершинами и ребрами) графа. В то время как смежность представляет собой отношение между однородными объектами (вершинами).

Говорят, если вершина  $a_i$  является концом ребра  $e_h$ , то они инцидентны: вершина  $a_i$  инцидентна ребру  $e_h$  и обратно.

При переходе от орграфов к матрицам инцидентности различают положительную инцидентность (дуга исходит из вершины) и отрицательную (дуга заходит в вершину). Для примера (см. рис. 1.15 е) матрица инцидентности имеет вид

$$A = \begin{array}{c|cccc|c} & e_1 & e_2 & e_3 & e_4 & \\ \hline & 1 & 1 & & & a_1 \\ \hline & & & & 1 & a_2 \\ \hline & 1 & & 1 & & a_3 \\ \hline & & 1 & 1 & & a_4 \\ \hline & & & & 1 & a_5 \\ \hline \end{array}.$$

Важным понятием в алгебре отношений является понятие «функциональное отношение». Оно определяется как отношение  $H \subset X \times Y$ , если все его элементы (упорядоченные пары) имеют различные первые координаты. Иначе, каждому элементу  $x$  из  $X$  такому, что  $(x, y) \in H$  соответствует один и только один элемент  $y$  из  $Y$ .

Отличительной особенностью матрицы функционального отношения является то, что в каждом ее столбце содержится не более одного единичного элемента. Граф функционального отношения характеризуется тем, что из каждой вершины может выходить только одна дуга.

Любое функциональное отношение в алгебре отношений рассматривается как функция. Первую координату  $x$  упорядоченной пары  $(x, y) \in H$  назы-

вают аргументом (переменной), а вторую  $y$  – образом (значением) функции. Традиционная запись функции  $y = f(x)$  соответствует соотношению  $x f y$ , или  $(x, y) \in f$ . Множество  $H$  тех пар  $(x, y)$ , для которых выполнено соотношение  $xHy$  называют графиком функции.

Если функциональное отношение  $H \subset X \times Y$  всюду определено на  $X$ , т.е. его область определения  $D(H)$  совпадает с множеством  $X$ , то его называют отображением множества  $X$  в  $Y$  и записывают  $X \xrightarrow{H} Y$ . Отображение можно рассматривать как функцию  $f$ , определенную на множестве  $X$  и принимающую значения в множестве  $Y$ .

Из вышесказанного видно, что различие между отображением и функцией сводится к способу определения этих отношений на множестве  $X$ , причем отображение рассматривается как частный случай функции. Большинство авторов не различают понятия отображения и функции, оставляя открытым вопрос об области определения. В этом случае, если  $f$  – отображение или функция, то пишут  $f : X \rightarrow Y$ .

Приведем пример функциональных отношений, используя при этом числовые функции.

Предположим, что для определения рейтинга преподавателей вуза исследуется одна из компонент его профессиональной деятельности, а именно научная деятельность за некоторый период времени  $\Delta T$ . Одним из показателей научной деятельности преподавателя может служить количество научных трудов опубликованных им за этот период времени. Функциональное отношение между множеством моментов времени (выхода в свет публикаций) и значениями шкалы натуральных чисел, которые соответствуют количеству опубликованных работ, показано на рис. 1.16.

Такие функциональные отношения могут быть представлены в учебной базе данных вуза для формирования соответствующих логических выводов, например, если соискатель за интервал времени  $[t_m, t_{m+\alpha}]$  выполнил и опубликовал  $k_{n+\beta} \geq 20$  научных трудов, то можно считать, что он выполнил минимальные требования ВАК по опубликованию научных результатов на соискание ученой степени доктора наук.

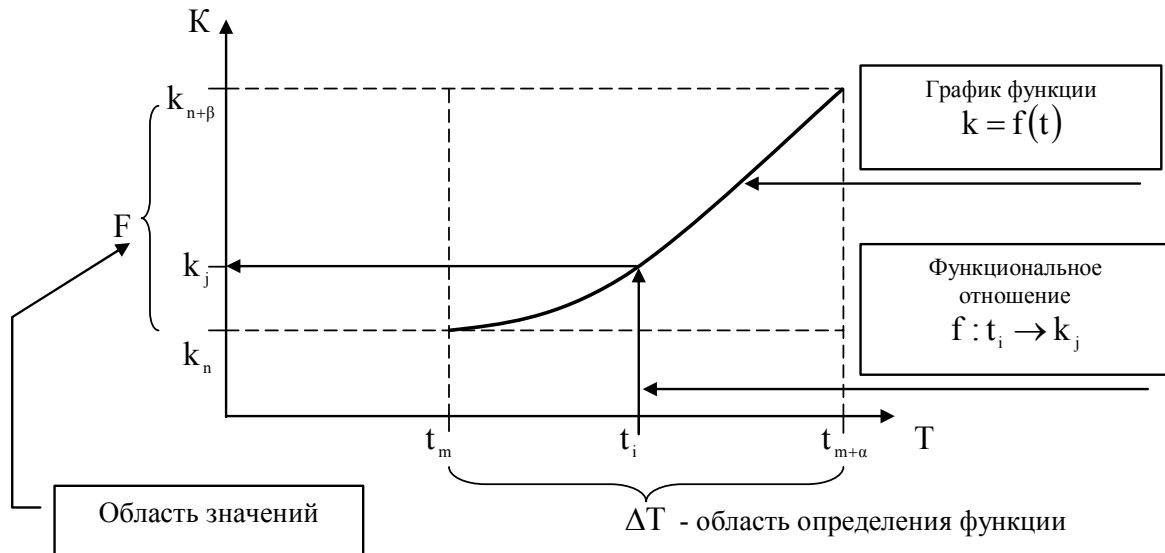


Рис. 1.16. Пример функциональных отношений

Большое значение в алгебре отношений имеют типы отображений. Различают отображения  $X$  в  $Y$ , где каждый элемент  $x \in X$  имеет один и только один образ  $y = f(x)$  из  $Y$ . Примером такого отображения может служить рассмотренный выше пример (см. рис. 1.16).

Говорят, что имеет место отображение  $X$  на  $Y$  в том случае, если любой элемент из  $Y$  есть образ, по крайней мере, одного элемента из  $X$ . Такое отображение получило название сюръекция или накрытие.

Если для любых двух и более различных элементов из  $X$   $\{x_i\} = X$ ,  $i \geq 2$  их образы  $y_j = f(x_i)$  также различны, то отображение  $f$  называется инъекцией.

Отображение, которое одновременно является сюръекцией и инъекцией называется биекцией или наложением. В этом случае принято говорить, что  $f: X \rightarrow Y$  есть взаимно-однозначное отображение, а между элементами  $X$  и  $Y$  имеется взаимно-однозначное соответствие.

Проиллюстрируем сюръективные, инъективные и биективные отображения на следующих примерах.

Зададим множество  $\{m_i\} = M$ ,  $i = \overline{1, n}$  - методических материалов, имеющих в библиотеке вуза, множество  $(d_j) \in D$ ,  $j = \overline{1, v}$  - учебных дисциплин, изучаемых в вузе и соответствие между ними в виде сюръективного отображения  $f: M \rightarrow D$ .

С высокой степенью достоверности можно утверждать, что для любой учебной дисциплины в библиотеке вуза найдется хотя бы одна методическая разработка (учебник, пособие, конспект лекций и др.).

Зададим множество  $\{p_i\} = P$ ,  $i = \overline{1, s}$  - преподавателей занятых в учебном процессе в конкретный учебный день недели, множество  $\{a_j\} = A$ ,  $j = \overline{1, r}$  - аудиторий вуза, в которых проводятся занятия. Тогда инъективное отображение  $f: P \rightarrow A$  ежедневно, согласно расписанию занятий ставит в соответствие преподавателей и аудитории, в которых они должны проводить занятия.

Взаимно-однозначное соответствие (биекция) имеет место между пронумерованными дисциплинами учебного плана и вершинами его структурно-логической схемы, которые пронумерованы в той же последовательности.

Следует заметить, что отношения можно рассматривать как множество и все операции, над множествами, которые рассмотрены выше, могут быть использованы для операций над отношениями.

Для алгебраических преобразований и классификации отношений необходимо знать свойства отношений, которые кратко изложим ниже.

#### *Свойства отношений*

Пусть  $E$  – бинарное отношение в множестве  $A$ . Определим общие свойства таких отношений, которые должны выполняться для всех  $(a_i, a_j) \in E$ . Говорят, что  $E \subset A \times A$ :

1. Рефлексивно, если  $E \supset R$  ( $R$  – тождественное отношение, т.е. оно всегда выполняется между объектом и им самим ( $aEa$ )).

Содержательными примерами рефлексивных отношений могут служить отношения «быть похожим на», «иметь общий признак».

Рефлексивные отношения всегда представляются матрицей, у которой на главной диагонали стоят единицы. В графе, изображающем рефлексивное отношение, каждая вершина имеет петлю.

2. Антирефлексивно, если  $E \cap R = \emptyset$ , т.е. может выполняться только для несовпадающих объектов: из  $a_i E a_j$  следует  $a_i \neq a_j$  (строгое неравенство, отношение строгого порядка).

Матрица, представляющая антирефлексивное отношение, имеет на главной диагонали нули, а в соответствующем графе петли непременно

отсутствуют.

Пример антирефлексивного отношения приведен на рис. 1.15д).

3. Симметрично, если  $E = E^{-1}$ , т.е. при выполнении соотношения  $a_i E a_j$  выполняется и соотношение  $a_j E a_i$ .

В матрице, представляющей симметричное отношение, элементы, симметрично расположенные относительно главной диагонали, равны между собой  $a_{ij} = a_{ji}$ . В соответствующем графе вместе с каждой стрелкой, идущей из вершины  $a_i$  в вершину  $a_j$ , существует и противоположно направленная стрелка. В большинстве случаев двойные стрелки не отображают, а симметричные отношения изображают неориентированным графом.

Пример симметричного отношения приведен на рис. 1.15 б).

4. Асимметрично, если  $E \cap E^{-1} = \emptyset$ , т.е. из двух соотношений  $a_i E a_j$  и  $a_j E a_i$  по меньшей мере одно не выполняется. Если отношение асимметрично, то оно и антирефлексивно.

В матричном представлении это приводит к равенству  $a_{ij} a_{ji} = 0$ . В соответствующем графе не может быть стрелок, соединяющих две вершины в противоположном направлении, т.е. направление стрелок всегда существенно.

Например, отношение строгого включения « $\subset$ », «быть преподавателем в конкретной учебной группе» и др.

5. Антисимметрично, если  $E \cap E^{-1} \subseteq R$ , т.е. оба соотношения  $a_i E a_j$  и  $a_j E a_i$  выполняются одновременно только тогда, когда  $a_i = a_j$ .

Для матричных элементов это приводит к утверждению:  $a_{ij} a_{ji} = 0$ , если  $i \neq j$ .

В графе антисимметричного отношения могут быть петли, но связь между вершинами, если она имеется, также отображается только одной направленной дугой.

Примерами таких отношений могут служить нестрогие неравенств  $\leq$ ,  $\geq$ , нестрогие включения  $\subseteq$ ,  $\supseteq$ .

6. Транзитивно, если  $EE \subseteq E$ , т.е. из  $a_i E a_j$  и  $a_j E a_k$  то следует  $a_i E a_k$ .

В матрице транзитивного отношения для каждой пары единичных элементов, один из которых расположен в  $i$ -м столбце и  $j$ -й строке, а другой в  $j$ -м столбце и  $k$ -й строке, обязательно существует единичный эле-

мент, расположенный в клетке на пересечении  $i$ -го столбца и  $k$ -й строки (наличие единичных элементов на главной диагонали не нарушает транзитивности).

Граф транзитивного отношения покажем на примере.

При исследовании учебного плана и построении структурно-логической схемы выделена цепочка учебных дисциплин: философия ( $d_1$ ), математика ( $d_2$ ), физика ( $d_3$ ), теория информации ( $d_4$ ) и надежность и эксплуатация АСУ ( $d_5$ ). Обозначим это множество соответственно  $\{d_i\} = D$ ,  $i = \overline{1,5}$ . Зададим между элементами этого множества отношение «обеспечивать знаниями». Тогда граф транзитивного отношения имеет следующий вид (см. рис. 1.17).

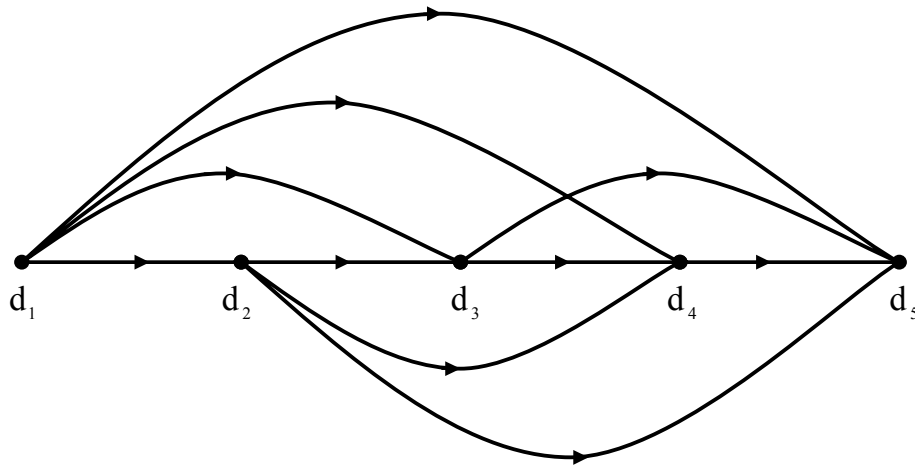


Рис. 1.17. Граф транзитивного отношения во множестве  $D$

### *Отношения порядка*

В алгебре отношений различают следующие виды порядка.

### **Упорядоченность**

Отношение порядка обладает свойствами рефлексивности, транзитивности и антисимметричности. Его принято обозначать символом  $\leq$ . Запись  $x \leq y$  означает, что пара  $(x, y)$  принадлежит множеству  $A \subset M \times M$ , являющимся отношением порядка в множестве  $M$ , причем  $x$  предшествует  $y$  (или  $y$  следует за  $x$ ). В принятых обозначениях свойства отношения порядка запишутся следующим образом: 1)  $x \leq x$  (рефлексивность); 2) если  $x \leq y$  и  $y \leq z$ , то  $x \leq z$  (транзитивность); 3) из  $x \leq y$  и  $y \leq x$  следует  $x = y$  (антисимметричность).

Множество, на котором определено отношение порядка, называется упорядоченным множеством. Множество совершенно (линейно, просто), упорядочено, если для любых двух его элементов имеет место, по крайней мере,  $x \leq y$  или  $y \leq x$  (его называют также цепью).

В общем случае может оказаться, что для некоторых пар  $(x, y)$  ни одно из соотношений  $x \leq y$  и  $y \leq x$  не имеет места (такие элементы называют несравнимыми). Тогда говорят, что множество частично упорядочено. Типичными примерами частичного порядка являются включение, отношение «быть делителем» и др.

### Отношение строгого порядка

Отношение, наделенное свойствами транзитивности и антирефлексивности, называют отношением строгого порядка и обозначают символом  $<$ . Свойство антирефлексивности означает, что элемент множества не может сравниваться сам с собой. Между отношениями строгого порядка и нестрогого порядка имеют место соотношения:  $(\leq) = (<) \cup E$  и  $(<) = (\leq) \setminus E$ , где  $E$  – тождественное отношение. Отношение строгого порядка характерно для различного рода иерархий с подчинением одного объекта другому.

### Последовательности

Элементы любого конечного множества  $M$  можно пронумеровать порядковыми числами  $1, 2, 3, \dots, n$ . Для счетного множества нумерацию следует понимать как взаимно-однозначное отображение множества натуральных чисел  $N$  на  $M$ , которые каждому числу  $i$  ставят в соответствие некоторый элемент  $x_i$  из  $M$ . Упорядоченное таким отображением множество  $\{x_1, x_2, x_3, \dots\}$  называется последовательностью (конечной или бесконечной). Элемент  $x_i$  из  $M$  называют членом последовательности с индексом  $i$ .

### Весовые функции

Пусть на множестве  $M$  определено отображение  $f : M \rightarrow R$  ( $R$  – множество действительных чисел), ставящее в соответствие каждому объекту  $x$  из  $M$  некоторое действительное число  $f(x)$ . Это число называют **весом**, а отображение  $f$  – весовой функцией. Иногда понятие веса совпадает с буквальным смыслом этого слова, например, вес детали, атомный вес химического элемента, полезный груз автомашины и др. Но весом может служить



любая числовая характеристика объекта, например, сопротивление резистора, объем тела, площадь участка, число баллов спортсмена и др.

Если отображение  $f$  взаимно однозначно, то на множестве  $M$  можно определить совершенно строгий порядок условием  $x < y$ , если  $f(x) < f(y)$ . Действительно, если не существует объектов с равными весовыми функциями, то для любой пары  $(x, y)$  справедливо либо  $f(x) < f(y)$ , либо  $f(y) < f(x)$ , т.е. все элементы сравнимы, и отношение антирефлексивно. В тоже время оно и транзитивно, так как для элементов  $x, y, z \in M$  из  $f(x) < f(y)$  и  $f(y) < f(z)$  следует  $f(x) < f(z)$ . Примерами совершенно строгого упорядоченного множества, на котором определено инъективное отображение (весовая функция) являются: периодическая таблица Менделеева, расположение спортсменов по совокупности полученных баллов при условии, что нет одинаковых результатов и т.д.

### Квазипорядок

Если отображение  $f : M \rightarrow R$  не инъективно, т.е. два различных объекта  $x$  и  $y$  из  $M$  могут иметь равные веса  $f(x) = f(y)$ , то отношение между ними не являются антисимметричным и, следовательно, не удовлетворяет определению порядка. В тоже время с отображением  $f$  можно связать разбиение множества  $M$  на классы эквивалентности  $\{M_1, M_2, \dots, M_j, \dots\}$ . Каждый из них объединяет различные элементы из  $M$  с равными весами, причем этот вес служит представителем соответствующего класса.

В таком случае говорят об упорядочении совокупности классов эквивалентности  $\{M_1, M_2, \dots\}$  некоторого множества  $M$  по их представителям  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ . Так как система представителей  $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots\}$  не содержит одинаковых элементов, то на этой системе как на множестве можно определить строгий порядок. Такое упорядочение отождествляет элементы множества  $M$ , принадлежащие к одному и тому же классу эквивалентности, и определяет на этом множестве квазипорядок (предпорядок). Говорят также, что строгий порядок на множестве классов эквивалентности  $\{M_1, M_2, \dots\}$  множества  $M$  индуцируется квазипорядком.

Квазипорядок удовлетворяет условиям рефлексивности и транзитивности.

### Отношение эквивалентности

Отношение эквивалентности представляет собой экспликацию, т.е. перевод индуктивных представлений обыденных слов «одинаковость», «неразличимость», «взаимозаменяемость» в строго математическое понятие.

Эквивалентность удовлетворяет условиям рефлексивности, симметричности, транзитивности и обычно обозначается символом « $\sim$ ». При этом  $x \sim y$  обозначает, что упорядоченная пара  $(x, y)$  принадлежит множеству  $A \subset M \times M$ , являющимся отношением эквивалентности в множестве  $M$ .

Свойства эквивалентности записываются следующим образом: 1)  $x \sim x$  (рефлексивность); 2) если  $x \sim y$ , то  $y \sim x$  (симметричность); 3) из  $x \sim y$  и  $y \sim z$  следует  $x \sim z$  (транзитивность).

### Отношение толерантности

Отношение толерантности  $\tau$  на множестве  $M$  удовлетворяет свойствам рефлексивности и симметричности. Упорядоченная пара  $(x, y)$  принадлежит множеству  $\tau \subset M \times M$ , если 1)  $x \tau x$  и 2)  $x \tau y$  следует  $y \tau x$ . Для этого отношения в отличие от эквивалентности, транзитивность не обязательна, и значит, эквивалентность, есть частный случай толерантности.

Отношение толерантности представляет собой экспликацию индуктивных представлений о сходстве и неразличимости. Каждый объект неразличим сам с собой (рефлексивность), а сходство двух объектов не зависит от того, в каком порядке ни сравниваются (симметричность). В тоже время, если один объект сходен с другим, а другой сходен с третьим, то это вовсе не означает, что они обязательно сходны между собой, т.е. свойство транзитивности может не выполняться.

Развлекательным примером толерантности является популярная задача «превращение мухи в слона» (муха – мура – тура – тара – кара – каре – кафе – кафр – каюр – каюк – крюк – крок – срок – сток – стон – слон). Здесь отношение толерантности определяется сходством между четырехбуквенными словами, если они отличаются только одной буквой.

### Законы композиции. Композиция объектов

В математике и ее приложениях большое значение имеют отношения, ставящие в соответствие паре каких-либо объектов  $(a, b)$  третий объект  $c$ . Примерами таких отношений являются действия над числами. В общем случае отношение может представлять собой некоторую операцию не

только между числами, но и между объектами любой природы. При этом запись  $a \perp b = c$ , или  $a Tb = c$ , означает, что  $a$  в композиции с  $b$  дает  $c$ . Символ « $\perp$ » (или « $T$ ») обозначает операцию, объекты  $a$  и  $b$  называют операндами, а объект  $c$  – результатом операции или композицией объектов  $a$  и  $b$ .

Обозначим множество операндов соответственно через  $A$  и  $B$  ( $a \in A$  и  $b \in B$ ), а множество результатов операции – через  $C$  ( $c \in C$ ). Так как множество пар  $(a, b)$  есть прямое произведение  $A \times B$ , то операцию определяют как отображение множества  $A \times B$  в  $C$ , т.е.  $A \times B \rightarrow C$ , и часто называют законом композиции.

### Законы композиций на множествах

Множества  $A, B, C$  участвующие в операции  $A \times B \rightarrow C$ , не обязательно должны быть различными. Если  $B = C = S$ , то говорят, что закон композиции определен на множестве  $S$ .

Различают внутренний закон композиции  $S \times S \rightarrow S$  и внешний закон композиции  $\Omega \times S \rightarrow S$ , где  $\Omega$  и  $S$  – различные множества. В случае внутреннего закона говорят, что множество образует группоид относительно операции  $T$ . В случае внешнего закона композиции элементы  $\alpha \in \Omega$  называют операторами, а  $\Omega$  – множеством операторов на множестве  $S$ .

Операции на множестве  $S$  могут обладать некоторыми общими свойствами, которые обычно выражаются соотношениями между элементами из  $S$ :

- коммутативность  $aTb = bTa$ ;
- ассоциативность  $aT(bTc) = (aTb)Tc$ ;
- дистрибутивность  $(aTb) \perp c = (a \perp c)T(b \perp c)$  и  $c \perp (aTb) = (c \perp a)T(c \perp b)$ .

### Гомоморфизм и изоморфизм

Рассмотрим два группоида: множество  $Q$  с законом композиции  $T$  и множество  $S$  с законом композиции  $\perp$ . Пусть каждому элементу из  $Q$  соответствует некоторый элемент из  $S$ , причем, если паре  $(a, b) \in Q$  соответствует пара  $(a', b') \in S$ , то элементу  $(a \perp b) = c$  из  $Q$  соответствует  $a' Tb' = c$  из  $S$ . Такое отображение  $Q \rightarrow S$  называют гомоморфизмом  $Q$  в  $S$ . Иначе говоря, если  $f: Q \rightarrow S$  такое, что для всякой пары  $(a, b)$  из  $Q$  справедливо со-

отношение  $f(a \top b) = f(a) \perp f(b)$ , то  $Q$  гомоморфно отображается в  $S$  относительно операций  $\top$  и  $\perp$  (см. рис. 1.18).

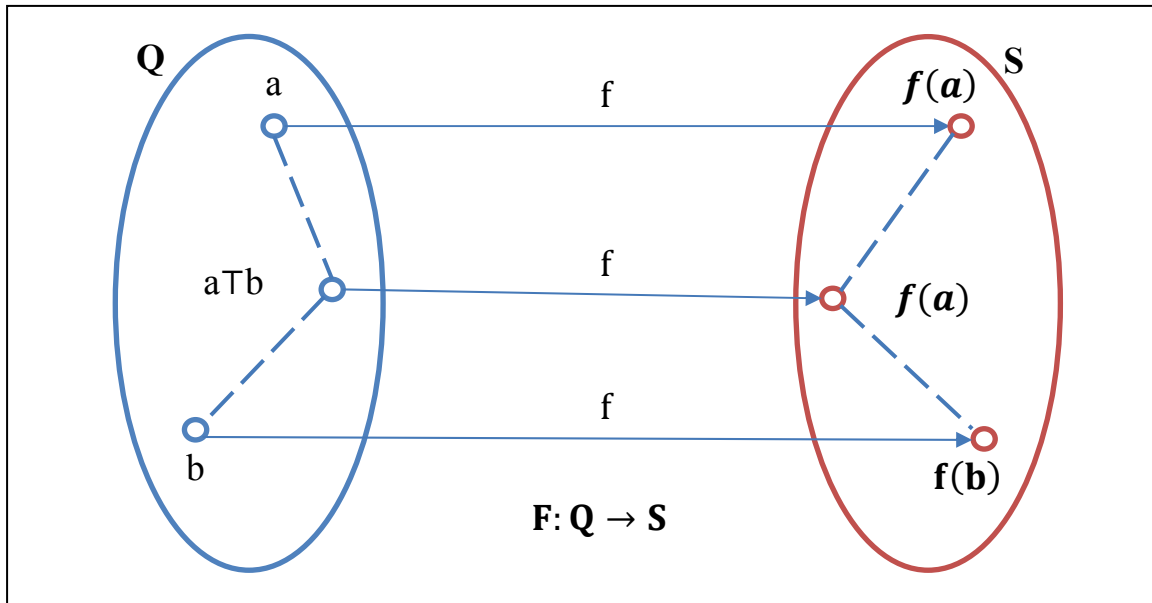


Рис. 1.18. Иллюстрация гомоморфных отображений

В алгебре отношений различают четыре вида отображений, суть которых представлена на рис. 1.19.

В случае сюръективного отображения  $f$  имеем гомоморфизм  $Q$  на  $S$ , называемый эпиморфизмом. Взаимно-однозначный (биективный) гомоморфизм называется изоморфизмом. Изоморфные множества  $Q$  и  $S$  обладают одинаковыми свойствами относительно определенных на них операций. Например, если операция  $\top$  коммутативна на множестве  $Q$ , то операция  $\perp$  также коммутативна на множестве  $S$ ; если для каждого элемента из  $Q$  существует симметричный элемент относительно операции  $\top$ , то и для каждого элемента из  $S$ , соответствующего элементу из  $Q$ , существует симметричный относительно операции  $\perp$ .

На практике формального представления сложных систем часто используют сложные порядки, когда на элементах некоторого множества существует несколько порядков. Например, если учебник или монографию рассматривать как некоторый лингвистический объект (сложную систему), то на его элементах (страницах, разделах, подразделах и т.д.) существуют отношения строгого порядка в виде нумерации страниц, отношения включения и принадлежности (раздел включает конкретные иллюстрации) и т.д.

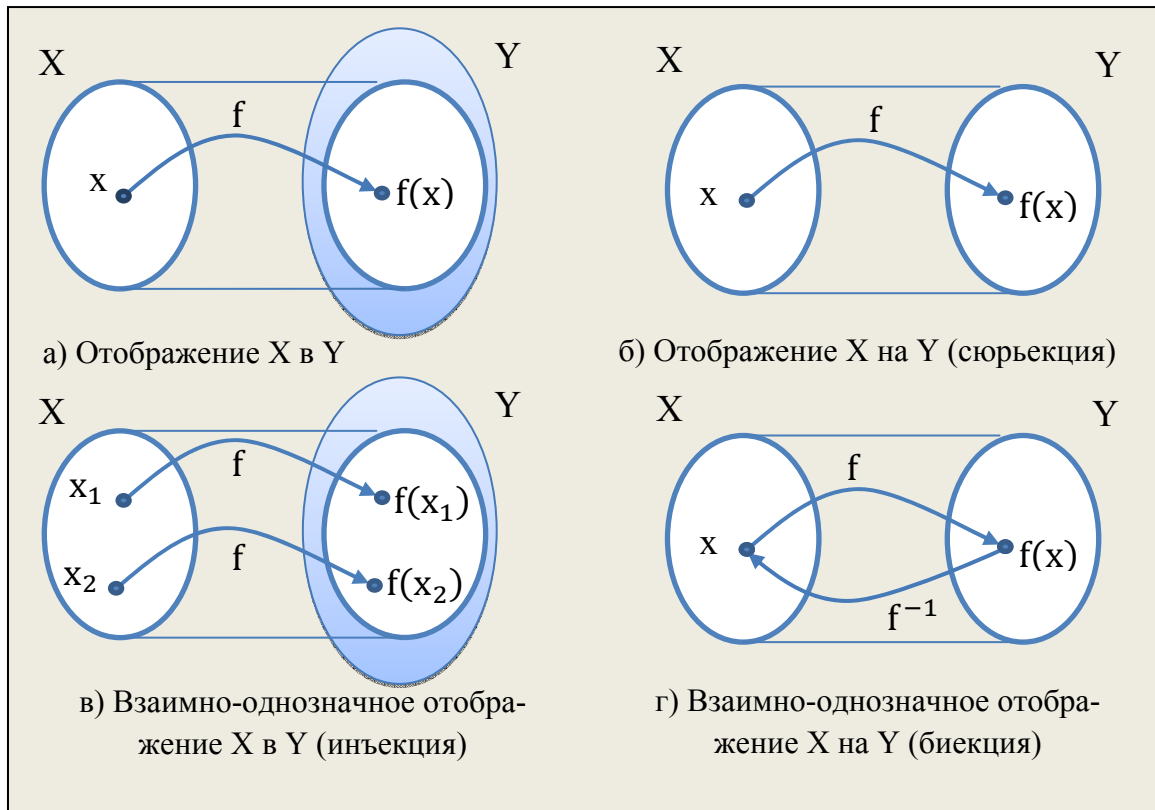


Рис. 1.19. Иллюстрация различных видов отображений

Здесь уместно привести понятие изотонности некоторых отображений.

**Изотонным** называется отображение  $X \xrightarrow{f} Y$ , сохраняющее порядок:  $x < y \rightarrow f(x) < f(y)$ , где символом « $<$ » обозначен порядок на  $Y$ .

#### *Языки математической логики*

Формальной системой, которая расширяет элементарную алгебру логики, является логика высказываний. Здесь высказывания рассматриваются, как двоичные переменные, которые удовлетворяют закону исключения третьего: каждое высказывание может быть истинным или ложным (третьего не дано). При этом считают, что высказывание не может быть одновременно и истинным и ложным (закон противоречия). Эти законы позволяют полностью использовать в логике высказываний аппарат двузначной логики.

В логике высказываний ставят в соответствие операциям отрицание, конъюнкция, дизъюнкция, импликация и эквиваленция сентенциональные связки (слова) «не», «и», «или», «если..., то», «если и только если», с помощью которых в обычном языке из простых предложений образуются сложные. Как правило, высказывания обозначаются прописными буквами,

а для операций используются те же символы, что и в алгебре логики. Например, *отрицание*  $\bar{P}$  может соответствовать высказыванию «Студенты на занятиях обучают преподавателя» – лож; *конъюнкция*  $P \wedge Q$  может соответствовать высказыванию «Преподаватель создал электронные средства обучения *и* использует их в педагогической практике». Это сложное высказывание можно разделить на два  $P$  – «Преподаватель создал электронные средства обучения» и  $Q$  – «Преподаватель использует электронные средства обучения в педагогической практики». Примером *дизъюнкции*  $P \vee Q$  может служить следующее высказывание «Преподаватель способен провести занятие традиционным методом ( $P$ ) *или* преподаватель способен провести занятие инновационным методом ( $Q$ )». Примером *импликации*  $P \rightarrow Q$  может быть высказывание, например, «Если студент хорошо подготовился к экзамену, *то* студент обязательно получит положительную оценку», где  $P$  – «Студент хорошо подготовился к экзамену» и  $Q$  – «Студент обязательно получит положительную оценку».

*Эквиваленция*  $P \sim Q$  может встречаться в различных грамматических формах, таких как « $P$ , если и только если  $Q$ », « $P$  тогда и только тогда, когда  $Q$ » и др. Примером эквиваленции может служить высказывание «Лабораторное занятие достигнет своей цели, *тогда и только тогда, когда* студенты готовы к проведению исследований», где  $P$  – «Лабораторное занятие достигнет своей цели», а  $Q$  – «Студенты готовы к проведению исследований».

Видно, что всякое сложное предложение, которое состоит из простых, связанных сентенциональными связками, можно представить в символической форме. Такие символические записи получили название высказывательных формул.

В логике высказываний дается следующее определение формулы: 1) переменные высказывания суть формулы; 2) если  $A$  и  $B$  – формулы, то  $(A \wedge B)$ ,  $(A \vee B)$ ,  $(A \rightarrow B)$ ,  $(A \sim B)$  и  $\bar{A}$  тоже формулы.

Такое определение позволяет из элементарных формул образовывать новые, более сложные формулы. При формализации для построения правильных умозаключений необходимо пользоваться известными законами (теоремами) логики высказываний, основные из которых приводятся ниже.

### ЗАКОНЫ ЛОГИКИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ

$P \rightarrow P$  - закон тождества;  $P \vee \bar{P}$  - закон исключения третьего;  $\bar{\bar{P}}$  - закон противоречия;  $\bar{\bar{P}} \sim P$  - закон двойного отрицания;  $P \rightarrow (Q \rightarrow P)$  - истина из чего угодно;  $\bar{P} \rightarrow (P \rightarrow Q)$  - из ложного что угодно;  $(P \rightarrow Q) P \rightarrow Q$  - закон отделения или modus ponens;  $(P \rightarrow Q) \bar{Q} \rightarrow \bar{P}$  - modus tollens и др.

Каждый из законов логики высказываний соответствует некоторой схеме доказательств. Например, в соответствии с законом modus ponens, если истинно, что некоторое высказывание  $P$  имплицирует высказывание  $Q$  и, кроме того  $P$  истинно, то истинно и  $Q$ .

В логике высказываний выделяют некоторый класс формул, которые называют истинными или выводимыми в исчислении высказываний. Определение истинных формул имеет такой же рекурсивный характер, как и определение формулы. Сначала определяются исходные истинные формулы, а затем определяются правила, позволяющие из имеющихся истинных формул образовывать новые. Эти правила называют «правилами вывода», а исходные истинные формулы – аксиомами. Образование истинной формулы из исходных истинных формул или аксиом путем применения правил вывода называют выводом данной формулы из аксиом.

В исчислении высказываний выделяют четыре группы аксиом и два базовых правила вывода.

### АКСИОМАТИКА И ПРАВИЛА ВЫВОДА ЛОГИКИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ

Первая группа (I).

1.  $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ .
2.  $(A \rightarrow (B \rightarrow C)) \rightarrow ((A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C))$ .

Вторая группа (II).

1.  $A \wedge B \rightarrow A$ .
2.  $B \wedge A \rightarrow B$ .
3.  $(A \rightarrow B) \rightarrow ((A \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow B \wedge C))$

Третья группа (III).

1.  $A \rightarrow A \vee B$ .
2.  $B \rightarrow B \vee A$ .
3.  $(A \rightarrow C) \rightarrow ((B \rightarrow C) \rightarrow (A \vee B \rightarrow C))$

Четвертая группа (IV).

1.  $(A \rightarrow B) \rightarrow (\bar{B} \rightarrow \bar{A})$ .
2.  $A \rightarrow \bar{\bar{A}}$ .
3.  $\bar{\bar{A}} \rightarrow A$ .

Видно, что аксиомы группы I из логических связей содержат только следствие. Эта связь входит и во все остальные группы. Но в группе II к следствию присоединяются конъюнкции (логические произведения), в группу III – дизъюнкции (логические суммы), а в группе IV – отрицания.

### ПРАВИЛА ВЫВОДА

**Правило подстановки.** Пусть  $G$  формула, содержащая букву  $A$ . Тогда если  $G$  истинная формула в исчислении высказываний, то, заменяя в ней букву  $A$  всюду, где она входит, произвольной формулой  $Q$ , мы также получаем истинную формулу.

**Правило заключения.** Если  $G$  и  $G \rightarrow Q$  истинные формулы в исчислении высказываний, то  $Q$  также истинная формула. Указанием аксиом и правил вывода полностью определяется понятие истинной, или выводимой в исчислении высказываний формулы.

Кроме базовых правил вывода – правила подстановки и правила заключения имеются и другие, производные правила. Для всех правил вывода в исчислении высказываний вводится схема, позволяющая сокращенно их записывать.

Правила вывода выражаются обычно в следующих терминах.

«Если формула  $G$ ,  $Q, \dots$  истинны, то формулы,  $R$ ,  $W$ ,  $\dots$  тоже истинны».

Такого рода определения записываются в виде следующей схемы:  $\frac{G, Q, \dots}{R, W, \dots}$

Тогда базовые правила вывода можно записать так.

**Правило подстановки**  $\frac{G}{S_A^Q(G)}$ , где  $S_A^Q(G)$  – формула, которая образовалась после подстановки вместо буквы  $A$  формул  $Q$ .

**Правило заключения**  $\frac{G, G \rightarrow Q}{Q}$ .

Исчисление высказываний является довольно узкой формальной системой, которая не в полной мере учитывает структуру формализуемого предложения. Она формализует только лишь логические связи между предложениями, как это выше показано на примерах.



*Язык логики предикатов.* Развитие алгебра логики получила благодаря ряду известных ученых (Фреге, Пеано, Рассела, Уайтхенда, Лукасевича, Гильберта), которые исследовали возможность проникновения формализации в структуру самих предложений в смысле связи того, о ком или о чем идет речь с тем, что говорится о данном предмете (предикат). Предикат в переводе с латинского (*praedicatum*) обозначает – высказывание и в словах определено как логическое сказуемое – то, что в суждении высказывается о его субъекте.

Предикат представляет логическую функцию  $P(x)$ , которая принимает, как и булева функция, значение 0 (F) или 1 (T), но в отличие от них значения аргумента  $x$  задаются элементами некоторого множества объектов ( $x \in M$ ). В общем случае такая функция может зависеть от многих аргументов  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , принимающих значения из одного и того же или различных множеств. Формально такую функцию записывают  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$  и называют  $n$ -местным предикатом.

Например: « $x$  – студент», « $x$  – преподаватель вуза», « $x$  – начальник кафедры», « $x$  – учебное пособие» и другие – **одноместные предикаты**  $P(x)$ ;

« $x$  учится в группе  $y$ », « $x$  является преподавателем кафедры  $y$ », « $x$  учебное пособие обеспечивает подготовку студентов по дисциплине  $y$ » – **двуместные предикаты**  $P(x, y)$ ;

« $x$  преподает учебную дисциплину  $y$  на профилирующей кафедре  $z$ », « $x$  является участником научно-исследовательской работы  $y$ , руководимой  $z$ », « $x$  имеет отличные знания по дисциплине  $y$ , которую преподает  $z$ » – **трехместные предикаты**  $P(x, y, z)$  и т.д.

В случае, если аргументы (**предметные переменные**) замещены конкретными значениями (**предметными постоянными**), например, номер кафедры, фамилия преподавателя, название учебной дисциплины и другими, то предикат вырождается в высказывание, которое рассматривается как 0-местный предикат.

Предметные переменные и предметные постоянные образуют класс логических понятий, которые называют **термами**.

Предикаты, как и булевы переменные можно связывать логическими операциями и получать более сложные предикаты. В отличие от исчисле-

ния высказываний в исчисление предикатов введены операции, которые называют кванторами. Они выражают отношение общности и существования. Пусть задан предикат  $P(x)$ , определенный на множестве  $M$ . Утверждение, что **все**  $(x \in M)$  обладают свойством  $P(x)$ , записывают с помощью квантора общности  $\forall x$  в виде  $\forall x P(x)$ , что читается «для всех  $x$ ,  $P$  от  $x$ ». Утверждение, что существует хотя бы один объект  $x$  из  $M$ , обладающий свойством  $P(x)$ , записывается с помощью квантора существования  $\exists x$  в виде  $\exists x P(x)$ , что читается «существует такое  $x$ , что  $P$  от  $x$ ». В некоторых случаях для того чтобы подчеркнуть существование единственного элемента к квантору существования добавляют восклицательный знак  $\exists!x$  - читают «существует единственный элемент  $x$  такой, что  $P$  от  $x$ ».

Кванторы общности  $\forall x$  и существования  $\exists x$  связывают переменную  $x$ , превращая одноместный предикат в высказывание. Очевидно,  $\forall x P(x)$  истинно только при условии, что  $P(x)$  тождественно истинный предикат, а во всех остальных случаях это высказывание ложно. Высказывание  $\exists x P(x)$  всегда истинно, кроме единственного случая, когда  $P(x)$  - тождественно ложный предикат.

Приведем примеры операций с кванторами.

Предикат  $P(x) = \langle x - \text{студент отличник конкретного вуза} \rangle$ , определенный на множестве студентов конкретного вуза. Подставляя вместо  $x$  фамилии отличников, получим множество высказываний, например,  $P(x) = \langle \text{Петренко отличник конкретного вуза} \rangle$ ,  $P(x) = \langle \text{Войтович отличник конкретного вуза} \rangle$  и другие, которые являются истинными. Высказывание  $\forall x P(x)$  - «все студенты отличники конкретного вуза» - ложно, а  $\exists x P(x)$  - «некоторые студенты являются отличниками конкретного вуза» - истинно.

Отсюда видно, что применение квантора к  $n$ -местному предикату превращает его в  $(n - 1)$ -местный предикат. Переменные, к которым применяются кванторы, называют связанными, а остальные переменные - свободными. Например, из двухместного предиката  $P(x, y)$  с помощью кванторов получаем одноместные предикаты  $\forall x P(x, y)$ ;  $\exists x P(x, y)$ ;  $\forall y P(x, y)$

и  $\exists y P(x, y)$ , а также 0-местные предикаты (высказывания)  $\forall x \forall y P(x, y)$ ;  $\forall x \exists y P(x, y)$ ;  $\exists x \exists y P(x, y)$ .

Квантор связывает переменную в области своего действия. Эта область обычно заключается в скобки, если она содержит не один предикат, а совокупность предикатов, связанных символами логических операций. Выражения, которые можно записать применением к предикатам сентенциальных связок и кванторов, представляют собой **формулы логики предикатов**.

Аксиоматику исчисления предикатов составляют аксиомы исчисления высказываний, к которой добавляются еще две аксиомы.

### АКСИОМАТИКА И ПРАВИЛА ВЫВОДА ЛОГИКИ ПРЕДИКАТОВ

$$1. \quad \forall x F(x) \rightarrow F(y)$$

$$2. \quad F(y) \rightarrow (\exists x) F(x)$$

В этих аксиомах  $F(x)$  - любая формула, содержащая свободные вхождения  $x$ , причем ни одно из них не находится в области действия квантора по  $y$ ; формула  $F(y)$  получена из  $F(x)$  заменой всех свободных вхождений  $x$  в  $y$ .

Основу правил вывода в исчислении предикатов составляют правила вывода исчисления высказываний. Правило заключения (modus ponens) – то же, что и в исчислении высказываний.

### ПРАВИЛА ВЫВОДА

*Правило связывания квантором общности ( $\forall$ - введения) в общем виде имеет следующую запись  $\frac{F \rightarrow G(x)}{F \rightarrow \forall x G(x)}$ , где  $G(x)$  содержит свободные вхождения  $x$ , а  $F$  их не содержит.*

*Правило связывания квантором общности ( $\exists$  - введения) записывается  $\frac{G(x) \rightarrow F}{\exists x G(x) \rightarrow F}$  при тех же требованиях к  $F$  и  $G$ , что и в предыдущем правиле.*

*Правило переименования связанной переменной. Связанную переменную формулы  $A$  можно заменить (в кванторе и во всех вхождениях в области действия квантора) другой переменной, не являющейся свободной в  $A$ .*

Более подробно правила образования истинных формул в исчислении предикатов приведены в работах [17 и др.].

Таким образом, в настоящем подразделе представлены основные понятия алгебры отношений и математической логики, которые могут быть полезными для формального представления сложных систем и их элементов, а также связей между ними, в частности логических связей.

К сожалению, много важных понятий алгебры отношений осталось за рамками настоящего подраздела конспекта лекций. Такие понятия как «отношение транзитивного замыкания», «гомоморфизм» и его разновидности, «отображение отношений», в частности «отношение корреспонденции» и другие будут полезны при изучении методов построения геоинформационных систем, в состав которых входят базы геоданных, а также базы знаний с моделями пространственно – временного представления объектов и процессов.

### 1.7 Методы оценивания сложных систем

В виду многообразия классов сложных систем и их свойств (см. п.п. 1.4, 1.5), существует большое количество методов их оценивания. Они условно подразделяются на два больших класса. К первому классу отнесем методы, которые позволяют получить точные количественные оценки характеристик и параметров, как элементов сложных систем, так и оценить эффективность сложной системы в целом. Ко второму классу будем относить методы качественного оценивания сложных систем. Как правило, ко второму классу относятся экспертные методы оценивания сложных систем.

Для количественного оценивания параметров, характеристик или свойств отдельных элементов сложной системы в их многообразии необходимо рассмотреть шкалы, по которым производятся измерения.

В теории измерений понятие шкалы определяется как тройка  $\langle \text{ЭСО}, \text{ЧСО}, f \rangle$ , где ЭСО – эмпирическая система с отношениями, ЧСО – числовая система с отношениями,  $f$  – некоторая функция, которая гомоморфно отображает ЭСО в ЧСО.

В теории измерений различают несколько видов шкал.

*Шкала наименований (номинальная шкала).* По сути, эта шкала позволяет классифицировать объекты на некоторые множества, элементы которых имеют свойства равенства или различия.

*Шкала порядка (ранговая шкала).* Между элементами некоторого множества, которые подвергаются измерению устанавливается отношение порядка, например, рейтинг между студентами.

*Интервальная шкала.* Это шкала равных единиц. Построение и использование интервальной шкалы возможно, если установлен критерий, который позволяет измерить интервалы между исследуемыми объектами в состоянии изучаемых свойств, т.е. установить, на сколько единиц один объект отличается от другого.

*Шкала отношений.* Для этой шкалы является характерным то, что она дает возможность определять не только, на сколько один объект отличается от другого, но и во сколько раз имеет место — это отличие. Интервальную шкалу можно превратить в шкалу отношений, если строго зафиксировать начало отсчета. Для шкалы отношений применимы все понятия и методы математической статистики.

*Нечеткая знаково-числовая шкала.* Шкалы порядка просты и доступны, однако малоинформативны. Многие преподаватели при оценивании знаний, умений и навыков обучаемых «усиливают» порядковую шкалу добавлением к числам знаки «+» и «-», тем самым, изменяя шкалу оценивания на более совершенную.

Исследуем этот феномен. Добавим к каждому числу балльной шкалы слева два знака —, а справа два знака +, тогда получим новую, знаково - числовую систему с отношениями (ЗЧСО)

$$-- 1 ++, -- 2 ++, -- 3 ++, -- 4 ++, -- 5 ++.$$

Знаки в такой системе соответствуют качественным оценкам, а числа — количественным.

#### *Общая характеристика экспертных методов*

Большое значение при экспертном оценивании придается методам организации и проведения экспертиз.

Наиболее простые методы: метод комиссий, метод суда, метод мозговой атаки.

**Метод комиссий** состоит в открытой дискуссии по обсуждаемой проблеме для выработки единого мнения экспертов. Коллективное мнение оп-

ределяется в результате открытого или тайного голосования. В некоторых случаях к голосованию не прибегают, выявляя результирующее мнение в процессе дискуссии. Преимущества метода комиссий: возможен рост информированности экспертов, поскольку при обсуждении эксперты приводят обоснование своих оценок и обратная связь - под воздействием полученной информации эксперт может изменить первоначальную точку зрения.

*Недостатки метода комиссий.* К их числу отнесем отсутствие анонимности. Оно может приводить к достаточно сильным проявлениям конформизма со стороны экспертов, присоединяющих свои мнения к мнению более компетентных и авторитетных экспертов даже при наличии противоположной собственной точки зрения. Дискуссия часто сводится к полемике наиболее авторитетных экспертов. Существенным фактором становится и различная активность экспертов, не всегда коррелированная с их компетентностью. Кроме того, публичность высказываний может приводить к нежеланию некоторых экспертов отказываться от ранее высказанного мнения, даже если оно в процессе дискуссии претерпело изменения.

**Экспертиза по методу суда** использует аналогии с судебным процессом. Часть экспертов объявляется сторонниками рассматриваемой альтернативы. Часть экспертов объявляется ее противниками и пытается выявить отрицательные стороны. Часть экспертов регулируют ход экспертизы, и выносит окончательное решение. В процессе экспертизы по методу суда "функции" экспертов могут меняться. Метод суда обладает теми же преимуществами и недостатками, что и метод комиссий.

**Метод мозговой атаки.** Основная его направленность - выявление новых идей. Для этой цели организаторы экспертизы должны создать атмосферу, наиболее благоприятствующую генерированию идей, атмосферу благожелательности, поддержки, освобождающую эксперта от излишней скованности. Обсуждаемая проблема должна быть четко сформулирована. Любая высказываемая экспертами идея должна быть обсуждена и не может объявляться ложной даже при ее почти очевидной бесперспективности.

В методе мозговой атаки существенная роль принадлежит руководителю, проводящему экспертизу. Руководитель знает о конечной цели экспертизы, направляя дискуссию в соответствующее русло. Отметим, что если руководитель стремится выделить лишь перспективные, с его точки зре-

ния, идеи, результат экспертизы оказывается менее значительным. Примером использования метода мозговой атаки может служить популярная телевизионная игра "Что, где, когда?"

**Метод Делфи.** Разработан Хелмером и Делфи. Он является одним из основных методов проведения экспертиз. В настоящее время он представляет по существу группу методов, объединенных общими требованиями к организации экспертных процедур и форме получения экспертных оценок.

В методе Делфи предусматривается создание условий, обеспечивающих наиболее продуктивную работу экспертной комиссии. Это достигается анонимностью процедуры с одной стороны и возможностью пополнять информацию о предмете экспертизы с другой стороны. Сочетание этих двух факторов во многом определяют метод Делфи. Еще одно важное свойство - обратная связь, позволяющая экспертам корректировать свои суждения с учетом промежуточных усредненных оценок и пояснений экспертов, высказавших "крайние" точки зрения. Для реализации обратной связи необходима много туровая процедура. Экспертиза по методу Делфи, как правило, проходит в 4 тура.

На первом туре экспертам сообщается цель экспертизы, и формулируются вопросы, ответы на которые составляют основное содержание экспертизы. Вопросы предъявляются каждому эксперту персонально в виде анкеты, иногда сопровождаемой пояснительной запиской. Если предъявляемые экспертам вопросы достаточно сложные, целесообразна предварительная разработка приближенной модели исследуемой системы, чтобы правильно ориентировать экспертов, конкретизировать цели и предмет экспертной процедуры, показать характер возможных ответов.

Успеху экспертизы способствует предоставление эксперту дополнительной информации о предмете экспертизы. Информация, полученная от эксперта, поступает в распоряжение аналитической группы, обеспечивающей организацию, проведение, обработку промежуточных и окончательных результатов экспертизы.

Аналитическая группа определяет экспертов, высказавших "крайние" точки зрения оцениваемой альтернативы, выше и ниже которых расположены 25% численных значений оценок. Расстояние между квартилями характеризует разброс экспертных оценок, их среднеквадратическое отклонение и тем самым характеризует согласованность точек зрения экспертов.

На втором туре делфийской процедуры экспертам предъявляются усредненная оценка экспертной комиссии и обоснования экспертов, высказавших "крайние" точки зрения. Обоснования предъявляются анонимно, без указания давших их экспертов. После получения дополнительной информации эксперты, как правило, корректируют свои оценки. Скорректированная информация вновь поступает в аналитическую группу. Третий и четвертый туры не отличаются от второго. Характерной особенностью метода Делфи является уменьшающийся от тура к туру разброс оценок экспертов, их возрастающая согласованность. Однако иногда наблюдается поляризация различных точек зрения, что может объясняться наличием среди экспертов представителей различных научных школ, специалистов различных профилей. Полезность делфийских процедур в этом случае состоит в выяснении точек зрения групп экспертов.

В некоторых случаях согласованная точка зрения экспертов может быть получена уже после второго или третьего туров. Тогда необходимость проведения последующих туров отпадает.

Таким образом, анонимность суждений, обоснование точек зрения экспертов, давших крайние оценки, обратная связь, реализуемая с помощью многотуровой процедуры – основные особенности метода Делфи.

Кроме рассмотренных методов существуют множество других методов экспертиз. Например, метод решающих матриц (Г.С. Поспелов 1966 г.). Метод прогнозного графа (В.М. Глушков), которые разрабатывались для оценивания перспективных направлений научных исследований.

#### *Оценка достоверности и точности экспертных оценок*

Для повышения достоверности и точности экспертного оценивания должны быть отобраны компетентные эксперты, хорошо знакомые с предметом экспертизы, обладающие достаточным опытом, способные выносить обоснованные объективные суждения. Оценка качества эксперта представляет собой достаточно сложную и многогранную проблему.

Основными методами оценки качества экспертизы являются. Документационный метод, метод тестирования, методы взаимооценки и самооценки, метод оценки непротиворечивости суждений эксперта и др.

**Документационный метод** предполагает оценку качества эксперта на основании таких документальных данных, как число публикаций и ссылок на работы эксперта, ученая степень, стаж, занимаемая должность и др.



**Тестовый метод** предполагает отбор экспертов на основании решения ими тестовых задач, в которых отражена специфика предмета экспертизы. В качестве теста могут рассматриваться результаты участия в аналогичных экспертизах.

Достаточно часто используется метод **взаимооценок и самооценки** экспертов. Взаимооценка осуществляется, как правило, двумя способами. В первом из них каждый предполагаемый член экспертной комиссии оценивает компетентность, объективность и т.д. других предполагаемых экспертов. Во втором - оценку качества предполагаемых экспертов осуществляет аналитическая группа, которой поручена организация и проведение экспертизы. При самооценке определение степени знакомства с предметом экспертизы, компетентности и т.д. в достаточно детализированном виде осуществляется самим экспертом. Взаимооценка и самооценка экспертов может носить как качественный, так и количественный характер.

Метод оценки **непротиворечивости суждений эксперта**. Опыт проведения экспертиз показывает, что эксперт далеко не всегда последователен в своих оценках. Особенно часто непоследовательность экспертов проявляется при использовании метода парных сравнений. Так, например, эксперт может считать альтернативу  $a_i$  более предпочтительной, чем  $a_j$  ( $a_i, a_j$ ), альтернативу  $a_j$  - более предпочтительней, чем  $a_i$  ( $a_j, a_i$ ) и вместе с тем альтернативу  $a_i$  - более предпочтительней, чем  $a_i(a_i, a_j)$ . При разбиении альтернатив на классы эксперт может считать принадлежащими одному классу пары альтернатив  $a_i$  и  $a_j$  ( $a_i \sim a_j$ ),  $a_j$  и  $a_i$  ( $a_j \sim a_i$ ) и в то же время не считать принадлежащими одному классу альтернативы  $a_i$  и  $a_i$  ( $a_i, a_i$ ). Такая непоследовательность объясняется различными причинами. С одной стороны, решающее влияние может оказывать специфика проводимой экспертизы, наличие сложной многокритериальной системы предпочтений у эксперта или многокритериального принципа разбиения альтернатив на классы. С другой стороны, непоследовательности эксперта может служить недостаточное его знакомство с предметом экспертизы, недостаточно четкая формулировка вопросов, обращенных к эксперту, отсутствие четкого представления о цели экспертизы. Выявить конкретные причины непоследовательности эксперта может лишь специально проведенный анализ.

Непротиворечивость суждений эксперта определяется соответствующим коэффициентом и вычисляется по формуле  $\eta = 1 - \gamma/\gamma_{\max}$ , где  $\gamma$  - число высказанных экспертом непротиворечивых суждений,  $\gamma_{\max}$  - число противоречивых суждений при парных сравнениях всех рассматриваемых альтернатив.

Результат парных сравнений можно представить в виде матрицы  $\|a_{ij}\|$  с элементами  $a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i > a_j, \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$

Способы определения значений  $\gamma$  и  $\gamma_{\max}$  хорошо известны.  $\gamma_{\max}$  - определяется числом альтернатив, подлежащих сравнению:

$$\gamma_{\max} = \begin{cases} \frac{n(n^2 - 1)}{24}, & \text{если } n - \text{нечетно,} \\ \frac{n(n^2 - 4)}{24}, & \text{если } n - \text{четно.} \end{cases}$$

Для определения значения  $\gamma$  необходимо вычислить так называемые строчные суммы  $S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ . Зная число альтернатив, подлежащих сравнению, и строчные суммы  $S_i$ ,  $i \in \{1, \dots, n\}$ , можно рассчитать  $\gamma = C_n^3 - \sum_{i=1}^n C_{S_i}^2$  или иначе

$$\gamma = \frac{1}{6}n(n-1)(n-2) - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^n S_i(S_i-1).$$

Одна из основных процедур проведения экспертизы является процедура согласования мнений членов экспертной комиссии. Согласованность экспертов оценивается с помощью коэффициентов ранговой корреляции и конкордации.

## 2 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОЗНАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

### 2.1 Проблемная ситуация как абстрактная система

В предыдущем разделе показано многообразие систем, классы которых могут между собой взаимодействовать и оказывать различного рода влияние на системы, подсистемы и элементы друг друга. Исследования объектов, явлений и процессов, в них протекающих являются наукоемкими сложными процессами. Для того чтобы очертить границы исследования говорят о проблемосодержащей среде.

В энциклопедических изданиях [7, 18] приводится следующее определение термину «проблема».

**Проблема** - в широком смысле сложный теоретический или практический вопрос, требующий изучения, разрешения; в науке - противоречивая ситуация, выступающая в виде противоположных позиций в объяснении каких-либо явлений, объектов, процессов и требующая адекватной теории для ее разрешения.

На ноосферном (глобальном) уровне существует следующая классификация проблем:

- проблемы, имеющие «универсальный» характер;
- проблемы природно-экономического характера;
- проблемы социального характера;
- проблемы смешанного характера.

К основным глобальным проблемам относят: экологическую, демографическую, мира и разоружения, продовольственную, энергетическую и сырьевую, здоровья людей, использования Мирового океана, освоения Космоса, а также проблему образования и обучения.

Из определения термина «проблема» следует, что проблемосодержащей средой можно называть предметную область, отражающую некоторую совокупность сложных систем, в которой развиваются противоречивые ситуации.

**Противоречие** - отношение двух суждений, каждое из которых является отрицанием другого. Еще философы Кант (1724-1804 г.г.) и Гегель (1770-1831 г.г.) [18] считали противоречие основной причиной реального

мышления (познания), а их устранение или смягчение как движущий принцип всякого развития.

Различают *проблемы развития* - неудовлетворительное состояние системы, изменение которого к лучшему является непростым процессом, а также *проблемы функционирования* – сохранение удовлетворительного состояния системы, которое требует постоянных и значительных ресурсов. Частные проблемы развития и функционирования систем во взаимосвязи друг с другом могут образовывать комплексную проблему.

На рис. 2.1 иллюстрируется модель проблемной ситуации, которая возникает в некоторой гипотетической проблемосодержащей среде. Здесь объемными стрелками условно показано, что актуальность проблемной ситуации зависит от соотношения позитивных и негативных сторон исследуемых объектов, процессов или явлений.

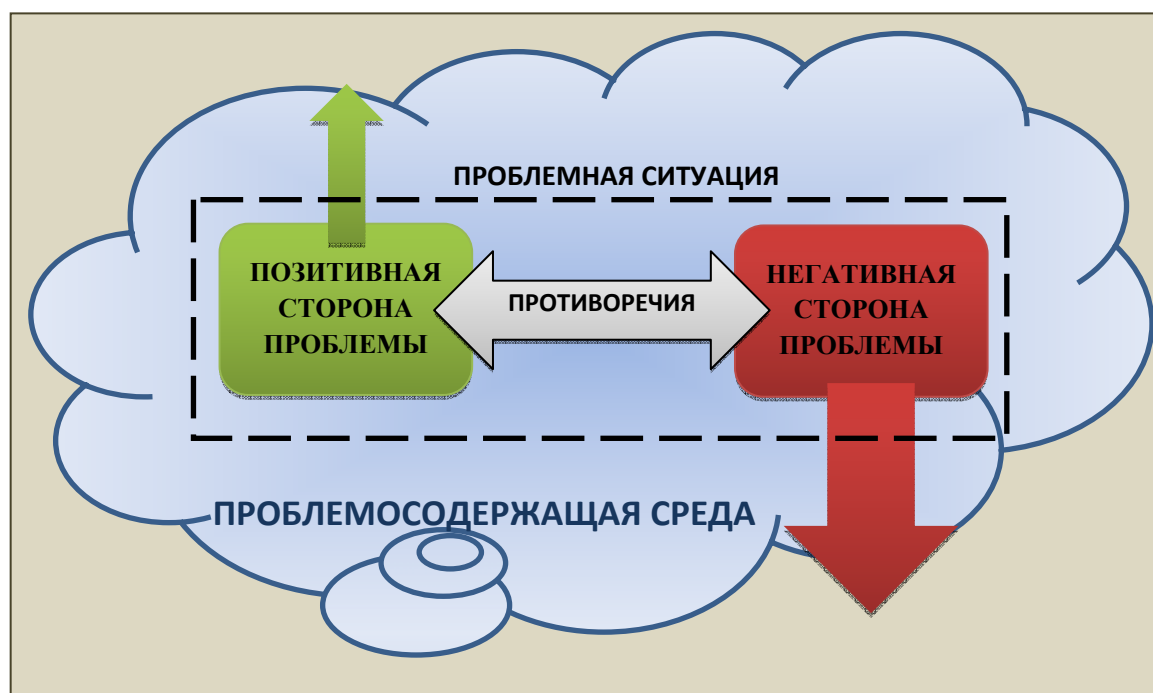


Рис. 2.1. Обобщенная модель проблемной ситуации

В проблемных ситуациях в качестве позитивных и негативных сторон могут быть использованы современные требования к конкретным системам и реально действующие на них факторы.

В качестве примера приведем проблемную ситуацию, сложившуюся в системе высшего образования Украины (см. рис. 2.2). Как правило, после

выделения противоположных сторон в проблемной ситуации и анализа их противоречий формулируются проблемные задачи. Эффективное решение этих задач ослабляет противоречия, и проблема становится менее актуальной.

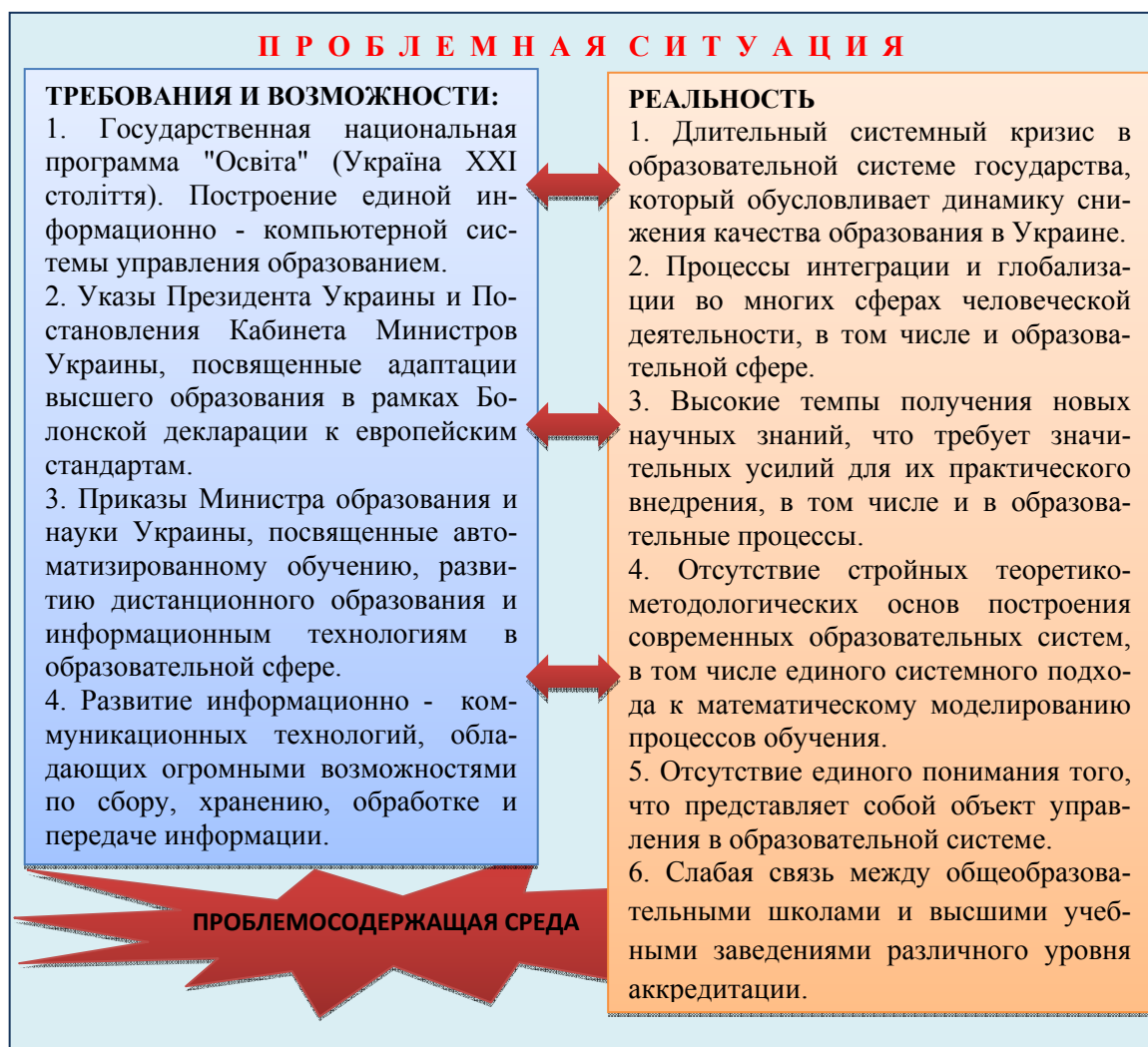


Рис. 2.2. Пример проблемной ситуации, сложившейся в системе «высшая школа Украины»

Для приведенного примера выделим ряд проблемных задач.

1. Анализ методологической парадигмы развития образовательной системы Украины и научное обобщение результатов использования методов искусственного интеллекта в образовании.

2. Разработка теории образовательных систем и совершенствование методологических основ использования в образовании ИТ-технологий.

3. Разработка унифицированных средств поддержки образовательных процессов в вузах с возможностью использования их баз знаний выпускниками общеобразовательных школ, а также гражданами, желающими получить последипломное образование.

4. Разработка методик и технологий использования интеллектуальных средств в вузах различного уровня аккредитации, обеспечивающих повышение эффективности образовательных процессов и учебных заведений в целом.

5. Разработка интеллектуальных средств и технологий управления и администрирования ОС Украины с использованием IT-технологий, обеспечивающих сбор, хранение, сравнительный анализ аккредитационных параметров вузов, осуществление независимого тестирования школьников, а также выработку стратегических решений по ее совершенствованию и рациональному взаимодействию с другими государственными системами.

6. Совершенствование методов и средств всех видов обеспечения образовательной системы Украины, в том числе правового, технического, организационного, лингвистического, финансового, информационно - методического, медицинского и других.

7. Планомерная подготовка специалистов, способных с использованием интеллектуальных средств и новых технологий эффективно решать задачи обучения и администрирования в школах и вузах соответствующими образовательными подразделениями.

Большой вклад в исследовании проблем и их классификацию внесли американские ученые А. Ньюэлл и Г. Саймон (рис. 2.3), которые являются авторами книги «Решение проблем человеком» [19].

Они предложили из всего множества выделить три класса проблем в зависимости от глубины анализа противоречий и познания их сути.

#### *Хорошо структурированные проблемы*

Эти проблемы хорошо поддаются формализации и решаются с использованием математического аппарата, позволяющего получать количественные оценки, показывающие эффективность разрешения проблемной ситуации. При решении таких проблем могут быть использованы методы элементарной математики (алгебры, геометрии и т.д.), теории вероятностей, математической статистики, интегрального и дифференциального исчисления и т.д., например, проблема уравнивания геодезических сетей производится одним из методов математической статистики, получивший

название «коррелатный способ». Другой пример, проблема оптимизации при создании расписания занятий в высшем учебном заведении с учетом множества критериев и факторов.

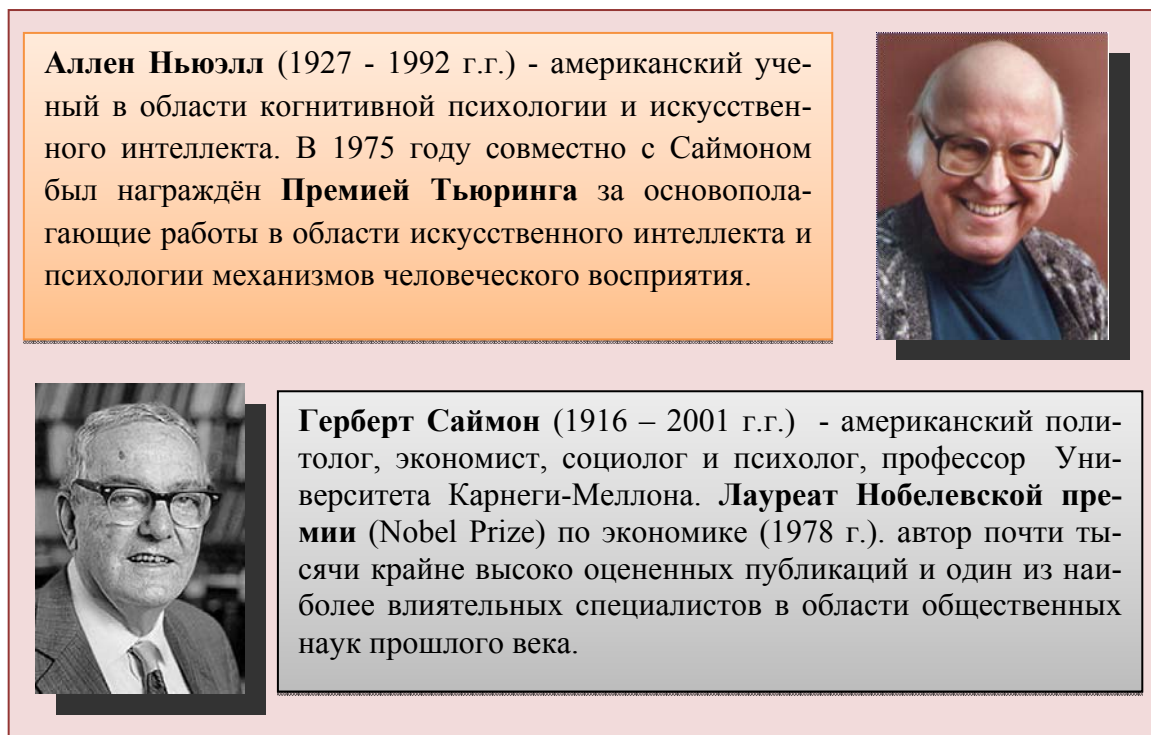


Рис. 2.3. Хорошее настроение американских ученых, есть чему радоваться

### *Слабоструктурированные проблемы*

Они, как правило, являются комбинированными, содержащие как количественные, так и качественные характеристики проблемных ситуаций, что обуславливает применение малоизвестных и разработку новых методов, обеспечивающих эффективное решение проблемы. Здесь для решения проблемы используются как методы вычислительной математики, так и математической логики в совокупности с методами мягких вычислений, предложенных Лотфи Заде [20]. К методам мягких вычислений в настоящее время относятся методы построения нейронных сетей, нечеткой логики, эволюционного моделирования (генетические алгоритмы), методы теории хаоса и роевого интеллекта (методы построения многоагентных систем и технологий). Примерами использования мягких вычислений при разрешении проблем в образовании и обучении может служить количественная оценка качества научных работ (монографий, диссертаций, научных

статей), а также профессиональной деятельности научно-педагогических работников [14].

### *Неструктурированные проблемы*

Неструктурированные или качественно выраженные проблемы описываются на содержательном уровне или с использованием методов метаматематики, которые имеют высокий уровень абстракций и обобщения. К таким методам относятся топологические методы, методы теории категорий и функторов, методы доказательств и т.д., а также специально разработанные неформальные процедуры и технологии формализации [14, С. 168 - 234]. Кроме того, для решения неструктурированных проблем часто используются экспертные методы (Терстоуна, фон Неймана – Моргенштерна, Черчмена – Акофа и др.).

Обратим внимание на то, что одна и та же проблема в зависимости от глубины ее проработки и изучения может быть отнесена к разным классам. По мере изучения проблемной ситуации проблема с начала может быть неструктурированной, а затем слабоструктурированной и хорошо структурированной. Это утверждение основано на опыте разработки метода и постановки проблемы с индексацией ее решения [14, С. 45 - 52].

Покажем на схеме порядок (пути) и основные этапы решения проблем (см. рис. 2.4). Видно, что процесс исследования проблемной ситуации и решения проблемы носит итерационный характер, как для отдельных проблемных задач, так и решение проблемы в целом. Обратные связи на рисунке показывают, возможность корректировки полученных результатов на любом этапе решения проблемы. На схеме блоки применения методов различных классов проблем специально показаны слитно, так как решение любой проблемы, в первую очередь зависит от знаний исследователя математического аппарата и умение его использовать как инструментальное средство при решении сложных проблем.

Рассмотрим более детально слабоструктурированные проблемы, так проблемные ситуации, возникающие в системе высшего образования, содержат множество противоречий, обусловленных недостатками правового обеспечения этой системы, а также влиянием на нее глобальных факторов - информатизации, интеграции и интеллектуализации.

Принято считать, что слабоструктурированные проблемы, во многих случаях решаются на основе методов системного анализа. Рассматривае-



мые проблемы имеют ряд характерных особенностей, к которым отнесем следующие.

**Особенность 1.** При решении слабоструктурированных проблем принимаются решения, результаты которых обнаружатся в будущем, через большой промежуток времени. Например, оценить решение о применении в обучении инновационной технологии можно только через некоторое время – семестр, учебный год и т.д.



Рис. 2.4. Обобщенная структурная схема решения проблемы

**Особенность 2.** Слабая структуризация проблемы обуславливает широкий диапазон альтернативных решений. Примером этой особенности

могут служить множество вариантов изложения одного и того же учебного материала (учебной дисциплины) разными преподавателями.

**Особенность 3.** Решения слабоструктурированных проблем зависят от существующего состояния проблемосодержащей среды и ее технологических возможностей. Данная особенность для системы высшего образования обусловлена разным уровнем технического оснащения вузов, а также квалификационным уровнем научно-педагогических и педагогических работников.

**Особенность 4.** Снижение уровня противоречий в слабоструктурированных проблемах предполагает принятие решений, требующих значительных затрат и ресурсов, и как следствие этого, содержит элементы риска. В качестве примера этой особенности решения слабоструктурированной проблемы в вузах можно привести разработку преподавателем инновационной технологии обучения, которая предполагает значительных временных затрат на ее проектирование. Кроме того, технология обучения предполагает использование самой современной оргтехники и мультимедийных программных продуктов. Вместе с тем, существует определенный педагогический риск, заключающийся в том, что непонятно, принесет ли использование инновационной технологии обучения позитивный или негативный результат.

**Особенность 5.** Сложность решения слабоструктурированных проблем, обусловлена необходимостью применения комбинации методов, как вычислительной математики, математической логики, мягких вычислений, так и эвристических и полувыверистических методов исследования проблемной ситуации. Примером такой комбинацией методов может служить технология формализации, предложенная в работе [14].

**Особенность 6.** При решении слабоструктурированных проблем существует некоторая неопределенность, связанная с критерием «эффективность – стоимость». Соотнесение начальных требований к решению слабоструктурированной проблеме к соответствующим затратам и оценке эффективности ее решения.

Основными концептуальными положениями применения системного анализа для решения слабоструктурированных проблем являются следующие.

1. Процесс решения проблемы начинается с выявления и обоснования конечной цели, которой хотят достичь в той или иной проблемосодержащей среде и уже на этой основе строится граф целевых установок теорети-

ческих исследований с промежуточными целями и задачами. На рис. 2.5 показан пример построения графа целевых установок, которые необходимо достигнуть в процессе решения проблемы. Граф показывает стремление развить (усовершенствовать) существующие методологические основы создания единой информационно-компьютерной системы управления образованием на базе интеллектуальных информационных технологий.

2. К решению слабоструктурированной проблемы необходимо подходить как к сложной системе, выявлять при этом частные проблемы и особенности противоречий, образующих ту или иную проблемную ситуацию.

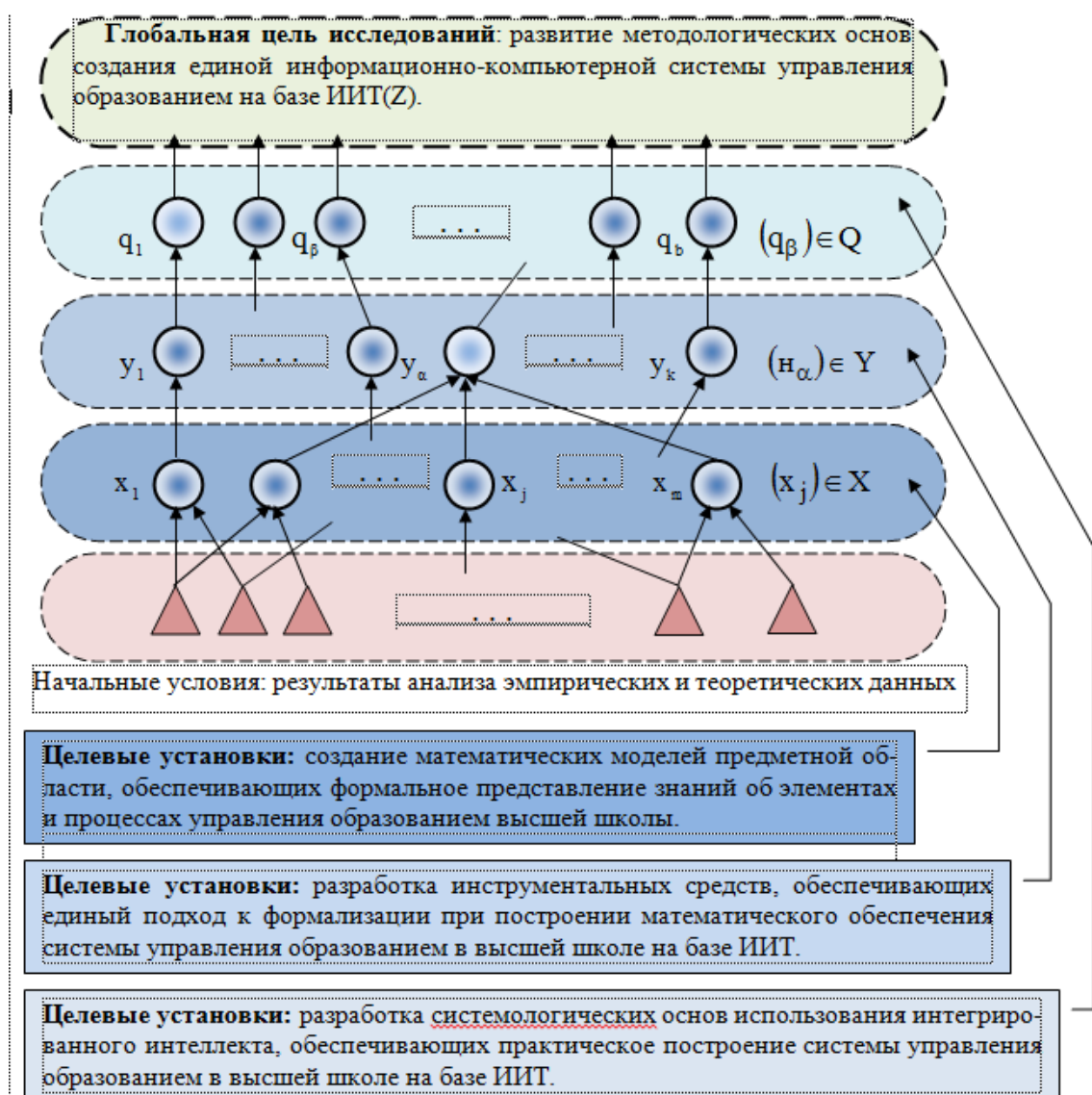


Рис. 2.5. Пример графа целевых установок теоретических исследований

3. В процессе решения проблемы осуществляется формирование множества альтернатив достижения цели (множество связей на рис. 2.5); оценка этих альтернатив с помощью соответствующих критериев и выбор предпочтительной альтернативы.

4. Организационная структура механизма решения проблемы должна соответствовать графу целевых установок.

Таким образом, рассмотрен начальный этап системного анализа, заключающийся в оценке проблемосодержащей среды, выделении проблемных ситуаций, а также особенностей противоречий, в них проявляющихся.

## 2.2 Принципы и методы системного анализа

**Системный анализ** - научный метод познания, представляющий собой последовательность действий по установлению структурных связей между переменными или элементами исследуемой системы.

Системный анализ основывается на следующих принципах:

- *единства* – совместное рассмотрение системы как единого целого и как совокупности частей;
- *развития* – учет изменяемости системы, ее способности к развитию, накоплению информации с учетом динамики окружающей среды;
- *глобальной цели* – ответственность за выбор глобальной цели. Оптимум подсистем не является оптимумом всей системы;
- *функциональности* – совместное рассмотрение структуры системы и функций с приоритетом функций над структурой;
- *децентрализации* – сочетание децентрализации и централизации;
- *иерархии* – учет соподчинения и ранжирования частей;
- *неопределенности* – учет вероятностного наступления события;
- *организованности* – степень выполнения решений и выводов.

Системный анализ опирается на комплекс общенаучных, экспериментальных, статистических и математических методов.

К экспериментальным методам относятся: наблюдение, тестирование, анкетирование, опрос, лабораторный эксперимент и более сложные методы - натурные и полунатурные испытания.

К статистическим методам относятся методы математической статистики и теории ошибок, например, методы дисперсионного, корреляцион-

ного, факторного анализа и другие, а также методы непараметрической статистики в случае малых выборок.

Рассмотри более подробно общенаучные методы.

### **Общенаучные методы**

**Анализ** - реальное или мысленное разделение объекта на составные части и **синтез** - их объединение в единое органическое целое, а не в механический агрегат. Результат синтеза - совершенно новое образование.

Применение аналитических и синтетических методов в исследованиях впервые описал И. Ньютон в работе «Оптика» (1704 г.). Вот, что он написал (рис. 2.6):

...как в математике, так и при испытании природы, при исследовании трудных вопросов, *аналитический метод* должен предшествовать синтетическому. Этот анализ заключается в том, что из *экспериментов* и наблюдений посредством *индукции* выводят общие заключения и не допускают против них никаких возражений, которые не исходили бы из опытов или других надежных истин. Ибо гипотезы не рассматриваются в экспериментальной философии. Хотя полученные посредством индукции из экспериментов и наблюдений результаты не могут еще служить доказательством всеобщих заключений, все же это – наилучший путь делать заключения, который допускает природа вещей.

*Optic's or a treatise of the reflections, refractions, inflections and colures of light, Isaaci Newton, [1704](#).*

Рис. 2.6. Высказывание И. Ньютона в работе «Оптика»

**Абстрагирование** - процесс мысленного отвлечения от ряда свойств и отношений изучаемого явления, с одновременным выделением интересующих исследователя свойств (прежде всего существенных, общих).

*Примером* абстрагирования может служить обобщенная модель проблемной ситуации (см. рис. 2.1), где отсутствует конкретика и показаны две противоположных стороны некоторой (гипотетической) проблемной ситуации, в которой негативные процессы и явления превалируют над позитивными, что обуславливает образование противоречий и в целом создает проблему.

Данный метод системного анализа широко используется в процессе обучения при выполнении лабораторных работ, а также при подготовке дидактического материала, поясняющего суть рассматриваемого объекта, процесса или явления.

**Обобщение** - процесс установления общих свойств и признаков предмета, тесно связано с абстрагированием. При этом могут быть выделены любые признаки (абстрактно-общее) или существенные (конкретно-общее, закон). Примером обобщения в организации учебного процесса могут служить учебные программы дисциплин, которые представляют в обобщенном виде учебный материал дисциплины и порядок его изложения.

**Идеализация** - мыслительная процедура, связанная с образованием абстрактных (идеализированных) объектов, принципиально не осуществимых в действительности ("точка", "идеальный газ", "абсолютно черное тело" и т.п.). Примером идеализации в образовательной сфере могут служить показательные лекции высококвалифицированного педагога, демонстрирующего свое методическое мастерство для начинающих преподавателей. Кроме того, метод идеализации используется в педагогической практике, когда необходимо показать студентам некоторый эталон (образец), например, оформления курсовой работы, отчета о лабораторной работе и т.д.

**Индукция** - движение мысли от единичного (опыта, фактов) к общему (их обобщению в выводах) и **дедукция** - восхождение процесса познания от общего к единичному. Это противоположные, взаимно дополняющие методы познания. Поскольку опыт всегда бесконечен и неполон, то индуктивные выводы всегда имеют проблематичный характер. Индуктивные обобщения обычно рассматривают как опытные истины (эмпирические законы).

Данные методы системного анализа составляют логическую основу построения учебного материала и обучения в целом. В качестве примера рассмотрим обычную лекцию. Преподаватель сначала объявляет тему лекции, а затем разбивает лекцию на вопросы, т.е. излагает учебный материал, используя *дедуктивный метод*. В конце лекции квалифицированный педагог должен подвести итог и обобщить изложенный материал, применяя при этом *индуктивный метод*.

**Аналогия** (соответствие, сходство) - умозаключение на основе переноса знания об одном объекте на менее изученный объект, сходный с первым в некотором отношении.

Данный метод широко используется в педагогической и воспитательной практике. Во многих дисциплинах, начиная с элементарной математи-

ки и физики часто, используются отношения подобия. Подобные фигуры в геометрии, подобные члены в алгебраических выражениях, подобные формульные соотношения в физике и т.д. свидетельствуют о том, что отношение сходства является одним из основных методов системного анализа в педагогической деятельности преподавателей. Кроме того, аналогия является одним из основных методов в теории воспитания.

**Моделирование** - метод исследования определенных объектов путем воспроизведения их характеристик на другом объекте - модели, которые представляют собой аналог, того или иного фрагмента действительности (материального или мыслительного) - оригинала модели.

Метод моделирования в методической базе системного анализа занимает особое место, так как чаще других методов используется в обучении. На основе моделирования формируют у человека знания, умения и навыки с раннего детства (игровые методы моделирования) и заканчивая организацией научной деятельности в вузах (математическое, имитационное моделирование и т.д.).

### ***Системный подход как метод постановки проблемных задач с целью их решения***

В системном анализе важное место занимает системный подход, который в энциклопедии [21] определяется как совокупность общенаучных методологических принципов (требований), в основе которых лежит рассмотрение объектов как систем. Схематично представим системный подход в виде человека изучающего сложную систему, которая расположена и функционирует в некоторой предметной области (см. рис. 2.7).

На рис. 2.7 обозначено: **Ss** – сложная система; **E** – свойство эмерджентности. Системный подход предполагает выявление зависимости каждого элемента от его места и функций в системе с учетом того, что свойства целого несводимы к сумме свойств его элементов; **Sc** – особенности структуры системы и ее элементов, анализ которых показывает, насколько эти особенности влияют на поведение системы в целом; **I** – особенности иерархичности структуры сложной системы и степени вложений ее элементов и подсистем друг в друга; **Ss ↔ C** – исследование механизмов взаимодействия сложной системы со средой; **Ss(t)** – исследование сложной системы в динамике. **Fv** – множество внешних факторов, как позитивных, так и негативных, оказывающих влияние на систему. Системный

подход предполагает детальное изучение этих факторов и их классификацию.

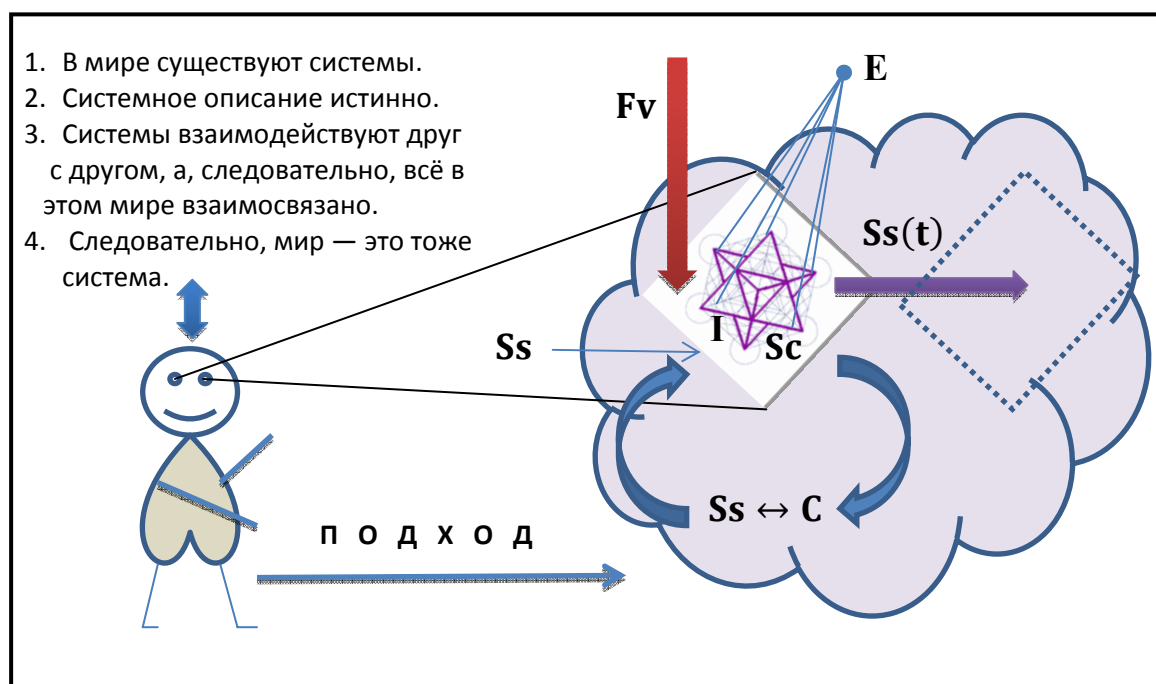


Рис. 2.7. Графическая интерпретация системного подхода к решению проблем и проблемных задач

### ***Системный подход как метод создания проблемных задач и проблем***

Конфликтные события по всему Миру (Тунис, Сирия, Египет и др.) на рубеже тысячелетий, а также огромные информационные возможности современных коммуникационных технологий позволяют сделать вывод о том, что проблемные ситуации не только разрешаются на основе методов системного анализа, но и могут создаваться с определенными целями на его же основе. Обратная задача решения проблемы, т.е. ее создание, наблюдается не только в глобальном масштабе на уровне государств, но и может решаться на межличностном, например, семейном уровне, в организационных и организационно-технических и других системах. Раскроем механизмы создания проблем. Условно, с высоким уровнем обобщения, некоторую сложную организационно-техническую систему обозначим треугольником (см. рис. 2.8). Ее иерархическую структуру покажем (пунктирными линиями) в обобщенном виде несколькими уровнями управления.



Для искусственного создания проблемной ситуации, связанной со сложной системой необходимо как можно больше знать о ее структуре и свойствах отдельных ее элементов и подсистем. Основным источником информации принято считать средства массовой информации (СМИ). Помимо СМИ источниками информации могут быть обычные люди, использующие технические средства передачи информации, в том числе и Интернет.

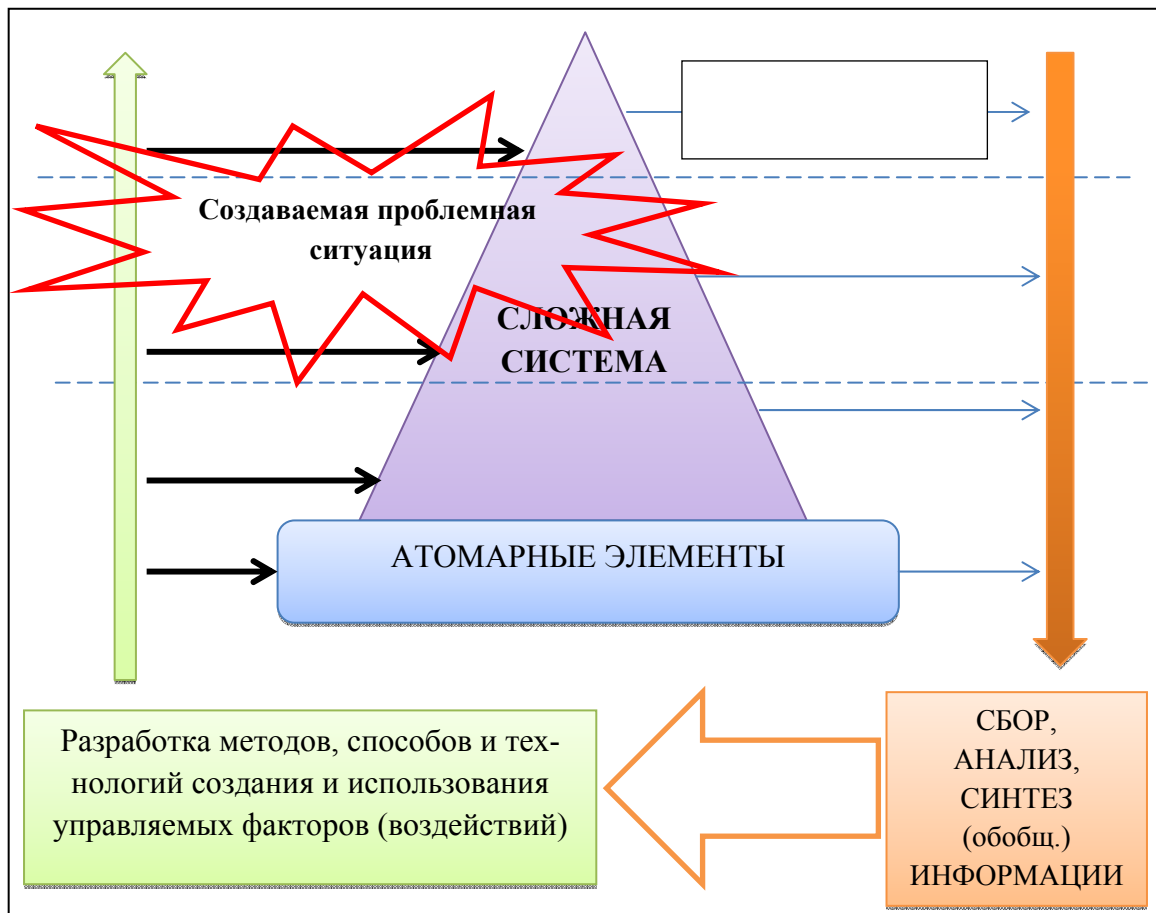


Рис. 2.8. Обобщенная схема создания управляемой проблемной ситуацией в сложной системе

*Структурно-функциональный метод* является разновидностью системного подхода, и строиться на основе выделения из системы ее структуры — совокупности устойчивых отношений и взаимосвязей между ее элементами и выявления их роли (функций) в составе системы.

Структура понимается как нечто инвариантное (неизменное) при определенных преобразованиях, а функция как "назначение" каждого из элементов данной системы. Например, рассматривая структуру вуза, можно

выделить структуры факультетов, кафедр, лабораторий и т.д. с их функциями и соответствующими взаимосвязями.

К основным требованиям реализации структурно-функционального метода можно отнести:

- изучение особенностей структуры сложной системы;
- исследование элементов сложной системы и характерных особенностей функционирования ее элементов;
- анализ изменения характеристик элементов сложной системы и их функций;
- рассмотрение развития (истории) сложной системы в целом;
- представление объекта как гармонически функционирующей системы, все элементы которой направлены на поддержание этой гармонии.

*Вероятностно-статистические методы* используются в случае необходимости учитывать при исследовании сложной системы множества случайных факторов, которые характеризуются устойчивой частотой появления. Это позволяет определить соответствующие законы или закономерности, связанные со случайными воздействиями на сложную систему или процессы в ней протекающие.

Таким образом, рассмотрены основные принципы системного анализа, приведена характеристика отдельных общенаучных методов. Приводится характеристика системного подхода, который обеспечивает структуризацию проблемных ситуаций.

## **2.3 Информация и проявление ее свойств в сложных системах**

Одним из чрезвычайно распространенных понятий в системе высшего образования является понятие «информация». Слово «информация» происходит от латинского слова «*informatio*», что в переводе обозначает сведение, разъяснение, ознакомление. Заметим, что для данного слова трудно найти образ (денотат) в смысле построения семантического треугольника. Слово «информация» в естественном языке употребляется, как правило, в сочетании с другими словами, раскрывающими его семантику, например учебная информация, достоверная информация, полезная информация, информационный процесс, информационная технология, информационная система и т.д.

В настоящее время не существует четкого и точного определения, что есть «информация». Энциклопедии дают самую общую трактовку этому термину.

*Информация* – общенаучное понятие, связанное с объективными свойствами материи и их отражением в человеческом сознании. Такое определение не учитывает специфику когнитивных (познавательных) процессов. Различают два вида информации – *объективную* как свойство материальных объектов, явлений и процессов и *субъективную* (семантическую, смысловую) информацию. Под субъективной информацией понимается смысловое содержание объективной информации об объектах и процессах материального мира, сформированного сознанием и специальными механизмами формирования и реализации знаний человека при помощи знаков, текстов, образов, ощущений и т.д. и зафиксированной на каком-либо материальном носителе информации (МНИ). На рис. 2.9 иллюстрируется суть преобразования объективной информации в субъективную, посредством сознания человека и его механизмов формирования и реализации знаний, и фиксации их на материальных носителях информации.

Под термином «знания» будем понимать форма существования и систематизации результатов познавательной деятельности человека. Знание помогает людям рационально организовывать свою деятельность и решать различные проблемы, возникающие в ее процессе.

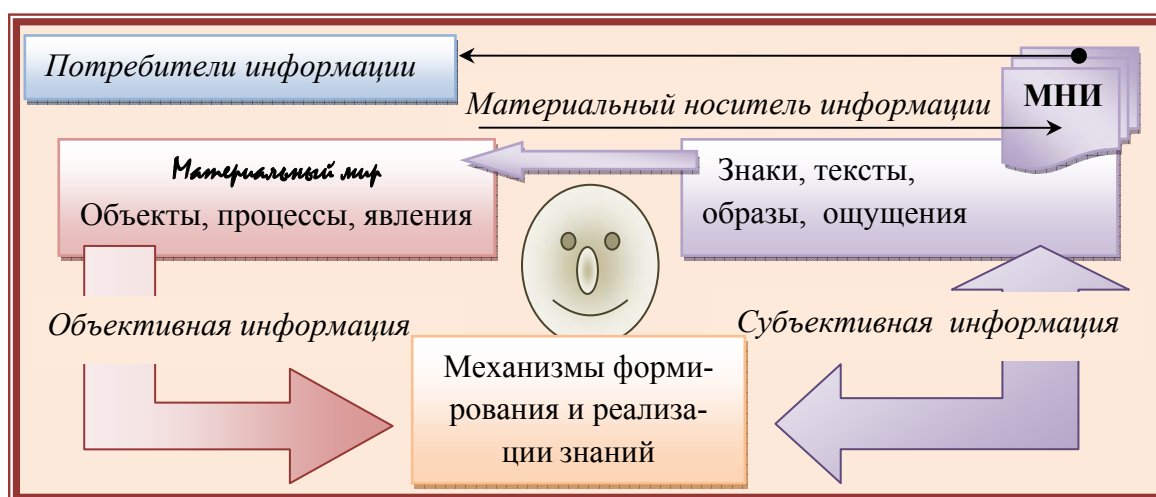


Рис. 2.9. Схема, иллюстрирующая преобразования информации в знания

В основе системы высшего образования лежат информационные процессы. Они предполагают систематизацию, структуризацию, прием и передачу информации, а также ее обобщение, детализацию и получение новой информации. Кроме того, информация визуализируется и представляется в различных видах и на основе как технических, так и не технических средств. Такое многообразие вариантов использования и преобразования информации в системе высшего образования обусловлено несколькими основными факторами. Во-первых, высокими интеллектуальными возможностями человека по преобразованию информации; во-вторых, множеством предметных областей и задач, которые решаются в их пределах; в-третьих, высокой динамикой информатизации процессов обучения и образования. Исходя из вышесказанного и учитывая особенности представления и использования информации в вузах, дадим определение термину «учебная информация».

*Учебная информация* – сведения об объектах, явлениях, событиях, процессах и т.д., которые излагаются (предоставляются) студентам дидактическим языком в рамках конкретной специальности, уменьшающие степень неопределенности и неполноты знаний, необходимых для решения комплекса типовых задач, сформулированных в образовательных стандартах.

Опираясь на приведенное определение термина «информация», рассмотрим ее некоторые свойства с точки зрения процессов обучения в высших учебных заведениях. Будем рассматривать следующие свойства информации: репрезентативность, содержательность, достаточность, доступность, актуальность, своевременность, точность, достоверность, ценность, или полезность.

*Репрезентативность* информации связана с правильностью ее отбора и формирования в целях адекватного отображения свойств описываемого объекта. Это свойство, как правило, проявляется в процессе подготовки преподавателя к занятиям. В частности, преподавателю необходимо подобрать материал для лекции, тема которой задана учебной программой. Он ставит в соответствие информацию, найденную в источниках, заданной теме лекции и выбирает ту, которая адекватно отражает суть рассматриваемых в лекции процессов и явлений.

Аналогично свойство репрезентативности информации проявляется в самостоятельной работе студентов при подборе материала (информации)

для написания, например, реферата на заданную тему. Проиллюстрируем на рис. 2.10 свойство репрезентативности информации.

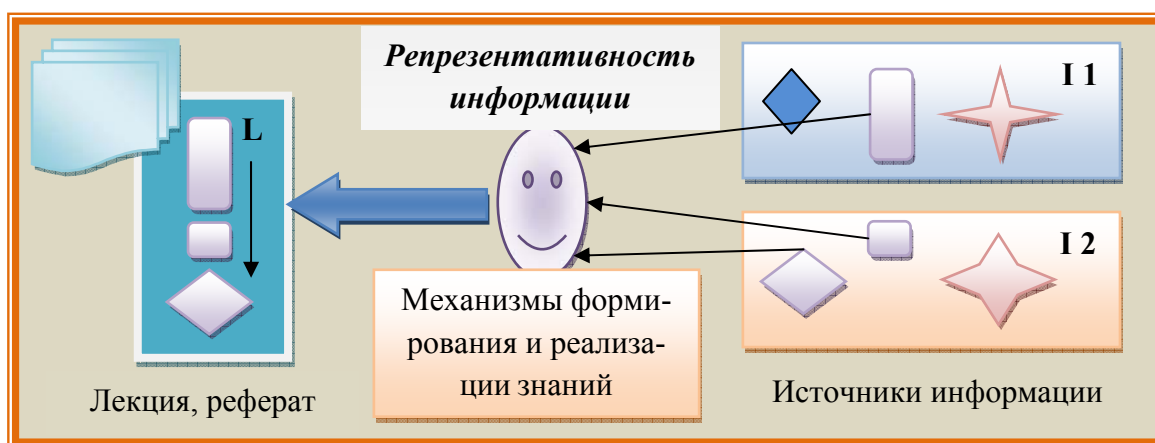


Рис. 2.11. Иллюстрация свойства репрезентативности информации при создании лекции (реферата)

Здесь показано, что механизм формирования и реализации знаний преподавателя из источников информации **I1**, **I2** выбирает только те их структурные элементы, которые адекватно отражают суть создаваемой учебной информации (лекция, реферат), которая на рисунке обозначена буквой **L**. Структурные элементы источников информации показаны правильными геометрическими фигурами, между которыми механизм формирования и реализации знаний преподавателя задает отношение строгого порядка. Этот факт показан вертикальной стрелкой рядом с буквой **L**.

*Содержательность* информации отражает семантическую емкость, равную отношению количества семантической информации в сообщении к объему обрабатываемых данных.

Данное свойство информации чрезвычайно важное в системе высшего образования, так как именно семантика наполняет содержанием теоретический материал учебных дисциплин и составляет основу формирования системы знаний студентов по специальностям обучения. К сожалению, ученые еще не разработали количественные методы измерения семантической емкости содержания учебных дисциплин. Только на основе педагогического опыта и интуиции можно оценить содержательность того или иного учебного материала, той или иной учебной дисциплины.

Содержательность информации в системе высшего образования проявляется во многих случаях, например, при оценивании открытых лекций

одним из главных показателей профессиональной подготовки преподавателей является содержательность учебного материала, излагаемого на лекции. Другим примером проявления свойства «содержательность» информации могут служить доклады на научных конференциях, которые в одних случаях за регламентное время несут максимальную семантическую нагрузку, а в других случаях, наоборот, за выделенное время докладчик не может изложить суть результатов своих исследований. Информация, зафиксированная на материальных носителях в виде конспектов лекций, учебных пособий, учебников и т.д., также обладает свойством «содержательность». Известны факты выпуска учебников под конкретные учебные дисциплины, состоящие из нескольких разделов, где в большинстве из них излагается известный математический аппарат и, лишь в одном, последнем разделе излагается суть предметной области. Исходя из определения свойства «содержательность», которое приведено выше, такие источники учебной информации являются не содержательными. Рассматриваемое свойство информации прослеживается в процессе написания студентами курсовых и дипломных работ, в устных и письменных ответах на зачетах и экзаменах и т.д. Проиллюстрируем это свойство на рис. 2.12, опираясь при этом на особенности языка и речи.

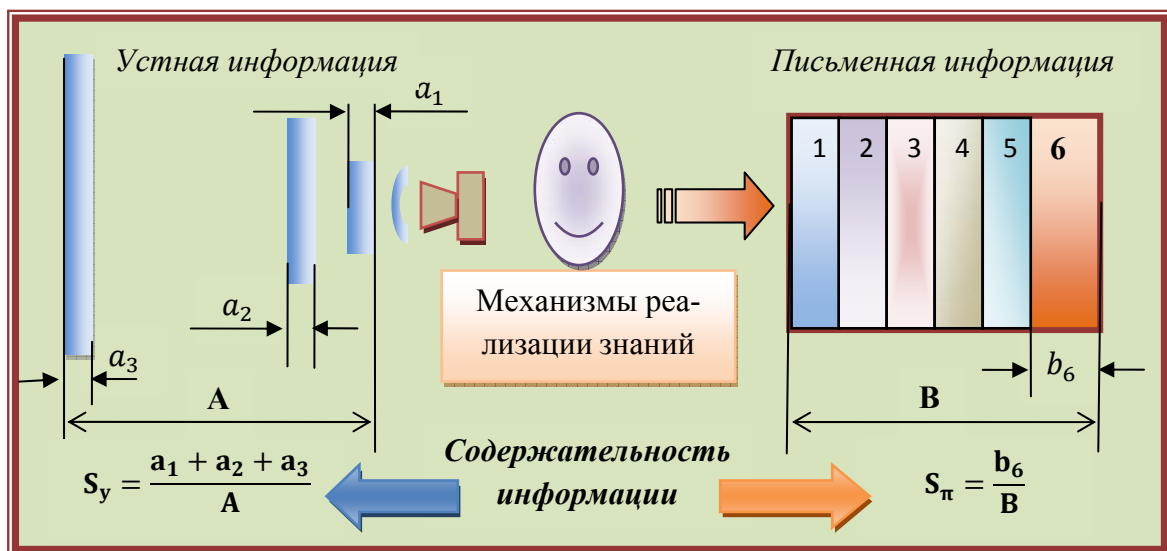


Рис. 2.12. Иллюстрация содержательности информации

На рис. 2.12 показано, что механизм реализации знаний может их реализовывать в двух формах. В устной форме содержательность информации  $S_y$  в сообщении соответствует сумме информации в тезисах (высказывани-

ях), несущих семантическую нагрузку  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ , отнесенной ко всей информации сообщения  $A$ . Чем ближе  $S_y$  к единице, тем выше содержательность. В письменной форме содержательность информации  $S_\pi$  соответствует отношению информации одного из структурных элементов лингвистического объекта, несущего семантическую нагрузку  $b_6$ , к общему количеству информации в этом объекте  $B$ .

Одной из особенностей содержательной информации является ее иерархическая структура, каждый уровень которой может быть различным по объему и степени общности. Кроме того, содержательная информация должна иметь свое оригинальное имя. Информация не считается содержательной, если у нее нет имени (названия). Наиболее наглядно эта особенность содержательной информации проявляется в учебниках, где всей содержательной информации присваивается имя в виде названия учебника, основным структурным частям, соответственно имена (названия) разделов, подразделов, пунктов и подпунктов. **Важно!** Для передачи смысла (семантики) содержания информации необходимо четко, ясно и лаконично формулировать названия структурных элементов и ее частей. Другими словами, названия структурных элементов, например, учебника или учебного пособия, адекватно отражают суть написанного. Причем между структурными элементами содержательной информации и их названиями формируются отношения «общее – частное», «род – вид», «причина – следствие», которые обеспечивают целостность восприятия каждой структурной части учебного материала.

Отметим часто встречающиеся ошибки по оформлению содержательной информации. Наиболее показательные ошибки несоответствия названия и содержания допускают студенты при оформлении выпускных работ и дипломных проектов. Например, название первого раздела «Общая характеристика информационных систем» (неправильно). Лучше написать «Анализ особенностей построения информационных систем» (правильно). В первом случае, название первого раздела дипломной работы более подошло к лекции по дисциплине «Информационные системы», но не к разделу дипломной работы, где необходимо показать именно проделанную работу. Название «Анализ особенностей ...» показывает, что студент не только в первом разделе проанализировал информацию, но и выделил соответствующие особенности. Еще пример. Второй раздел дипломной работы студент назвал «Программные средства» (плохо). Лучше написать

«Обоснование использования программных средств для ...», что также показывает работу студента.

*Достаточность* (полнота) информации означает, что она содержит минимальный, но достаточный объем для принятия правильного педагогического решения. Понятие полноты информации связано с ее смысловым содержанием (семантикой) и прагматикой. Данное свойство информации наиболее полно проявляется на этапе создания или модернизации учебных дисциплин преподавателями, а также при написании учебно-методической литературы. Теоретический материал учебной дисциплины в виде некоторого объема информации должен обеспечивать студентам возможность решения практических задач в рамках дисциплины. Объем теоретического материала (информации) должен быть *достаточным* для принятия студентами правильных решений на практических и лабораторных занятиях и самостоятельном освоении учебного материала.

В учебной деятельности студентов свойство достаточности информации наиболее полно проявляется при сдаче устного экзамена или зачета. Многие преподаватели при ответе студента на вопрос экзаменационного билета часто произносят сакраментальное слово «достаточно». Это свидетельствует о том, что преподавателю достаточно информации для того, чтобы оценить знания студента. Большинство преподавателей используют свойство информации «достаточность» как один из важных показателей оценивания знаний студентов. Проиллюстрируем на рис.2.13 рассматриваемое свойство информации.

Здесь показано, что для успешного решения практических задач на практических занятиях, при курсовом проектировании, производственных и других практиках, а также в целом типовых задач, заданных образовательными стандартами, необходимо студенту предоставить достаточное количество теоретического материала.

*Доступность* информации восприятию пользователя обеспечивается выполнением соответствующих процедур ее получения и преобразования, а также использованием технических средств отображения и передачи данных.

Данное свойство информации сильнее всего проявляется в процессе аккредитации какой-либо вузовской специальности или вуза в целом. Одним из показателей аккредитации является доступность студентов к той или иной учебно-методической литературе.



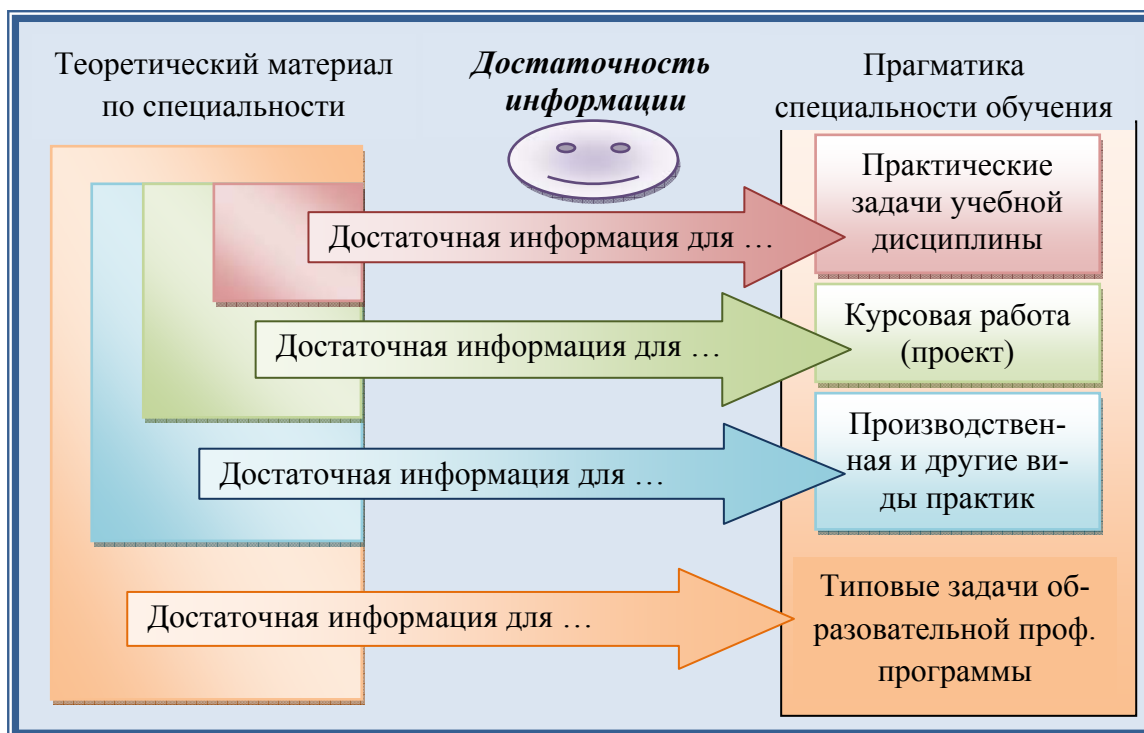


Рис. 2.13. Иллюстрация свойства информации «достаточность» на примере обеспечения теоретическим материалом решения практических задач

Свойство доступности к учебной информации измеряется количеством учебников или учебных пособий, приходящихся на одного студента по той или иной дисциплине. Считается, что доступность к информации обеспечена полностью, если на каждого студента вуза приходится не менее одного источника учебной информации по всем дисциплинам учебного плана специальности.

Доступность информации является одним из важнейших свойств дистанционных форм обучения на основе Интернет-технологий. Дистанционное обучение обеспечивает доступ к учебной информации в любое удобное для обучающихся время. Иллюстрация рассматриваемого свойства приведена на примере (см. рис. 2.14), где показана доступность студентов к информационному обеспечению вуза. Оно состоит из бумажных источников информации (библиотечного фонда), в котором отсутствуют отдельные источники информации, и электронных библиотек Глобальной сети Интернет. На рис. 2.14 иллюстрируется случай, когда отсутствуют бумажные источники информации – и студенты обращаются в поисках учебной информации к электронным библиотекам в сети Интернет.

*Актуальность* информации определяется степенью сохранения ценности информации для управления в момент ее использования и зависит от

динамики характеристик и интервала времени, прошедшего с момента возникновения данной информации.

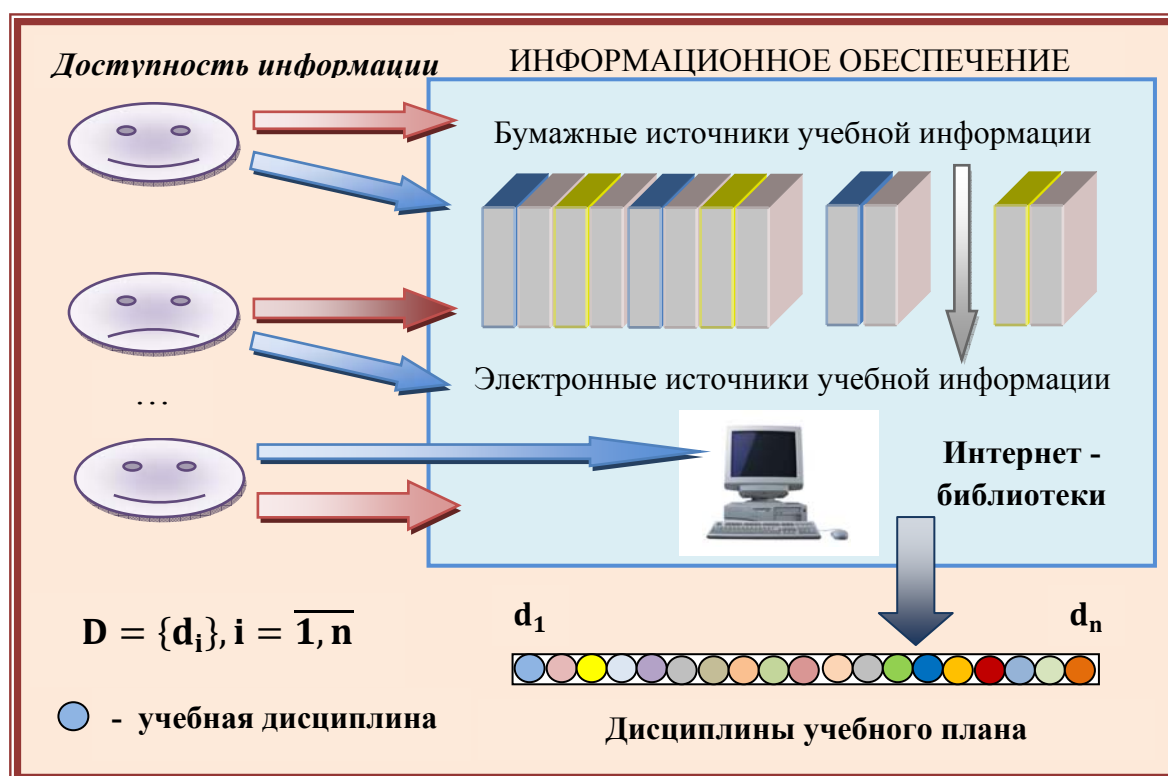


Рис. 2.14. Иллюстрация доступности студентов к информационному обеспечению вуза по специальности

Свойство актуальности информации в системе высшего образования тесно связано с использованием таких понятий как «старение информации», «обновление информации» и др. Данное свойство информации является основополагающим в научных исследованиях.

Динамика изменения этого свойства различна и скачкообразна. Например, для студента, который готовится к экзамену, вся информация, касающаяся учебной дисциплины, является чрезвычайно актуальной. Успешная сдача экзамена студентом временно переводит учебную информацию в категорию неактуальной информации.

Другой пример сохранения актуальности информации - длительное время. Для педагога, работающего над постановкой новой дисциплины, длительное время (семестр, учебный год и т.д.), актуальной остается информация, касающаяся содержания разрабатываемого курса. Здесь надо отметить, что актуальная информация не обязательно должна быть новой в смысле мировой новизны.

Высокие динамические характеристики свойства актуальности информации тесно связаны со свойством *своевременности* ее использования. Данное свойство информации в процессах обучения, образования и воспитания является наиболее используемое в системе высшей школы, так как оно связано с принятием педагогических решений. Своевременность использования информации, и в частности учебной, проявляется во множестве случаев организации учебного процесса и функционировании высшего учебного процесса в целом. Это своевременность или несвоевременность подготовки студента к занятиям, своевременность или несвоевременность подготовки учебного пособия преподавателем, своевременность или несвоевременность использования информации о начале занятий как студентами, так и преподавателями и т.д. Из вышесказанного видно, что свойство информации «своевременность» непосредственно связано с теорией воспитания, в частности с таким понятием как «дисциплина» лиц, принимающих решения на основе учебной информации. Объединим рассматриваемые свойства информации «актуальность» и «своевременность» и покажем в обобщенном виде, как они проявляются в учебной деятельности педагога, которая на рис. 2.15 представлена тремя параллельными процессами.

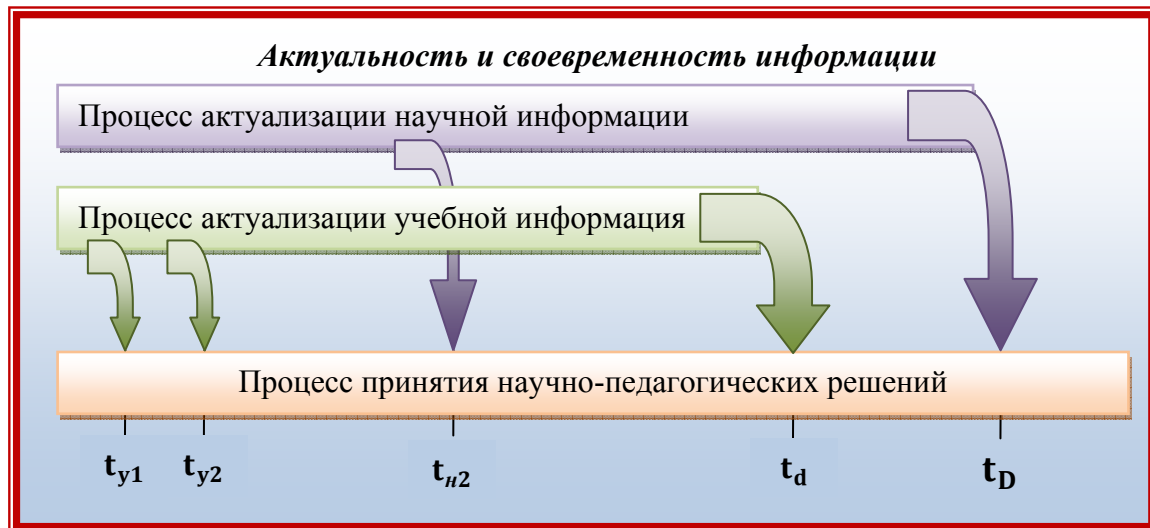


Рис. 2.15 Иллюстрация использования актуальной информации в учебной и научной деятельности преподавателя

Здесь два процесса являются информационными и один процесс принятия научно-педагогических решений. Процесс актуализации учебной информации представляет собой информационную подготовку преподавателя к занятиям и их своевременного проведения в соответствии с расписанием занятий. Процесс принятия педагогических решений на рис. 2.15.

показан тремя точками,  $t_{y2}$  и  $t_d$ , где первые две соответствуют началу первого и второго занятия, а третья точка  $t_d$  соответствует концу обучения, т.е. экзамену. Научная составляющая педагогической деятельности показана процессом актуализации научной информации и принятием решений, например, подготовкой тезисов к докладу и выступление на запланированной ( $t_{n2}$ ) научной конференции, а также подготовкой и защитой кандидатской диссертации ( $t_D$ ).

*Точность* информации определяется степенью близости получаемой информации к реальному состоянию объекта, процесса, явления и т.д. Данное свойство информации оказывает существенное влияние на обучение в высшей школе и формирование у студентов устойчивой и четкой системы знаний по специальности обучения. Известна условная классификация наук, которая делит их на точные и неточные. По аналогии выделяют точные и не точные учебные дисциплины. В основе такой классификации лежит понятие «мера». Как правило, учебные дисциплины, которые изучают основы теорий естественных и технических наук, используют понятие «мера» как качественную или количественную пропорцию соотношение истин. В гуманитарных науках точность информации интерпретируется как степень ее обобщения, например, на вопрос: «где расположен большой андронный коллайдер» можно дать несколько правильных, но неточных ответов.

1. Большой андронный коллайдер размещается в Европе.
2. Большой андронный коллайдер размещен во Франции и Швейцарии.
3. Большой андронный коллайдер с двумя кольцами разгона элементарных частиц размещен на границе Франции и Швейцарии вблизи города Женева, и его месторасположение показано на географической карте (см. рис. 2.16).

Наиболее точная информация о месте расположения Большого андронного коллайдера содержится в третьем ответе. Кроме того, данная информация содержит дополнительные сведения о назначении и отдельных особенностях структуры коллайдера.

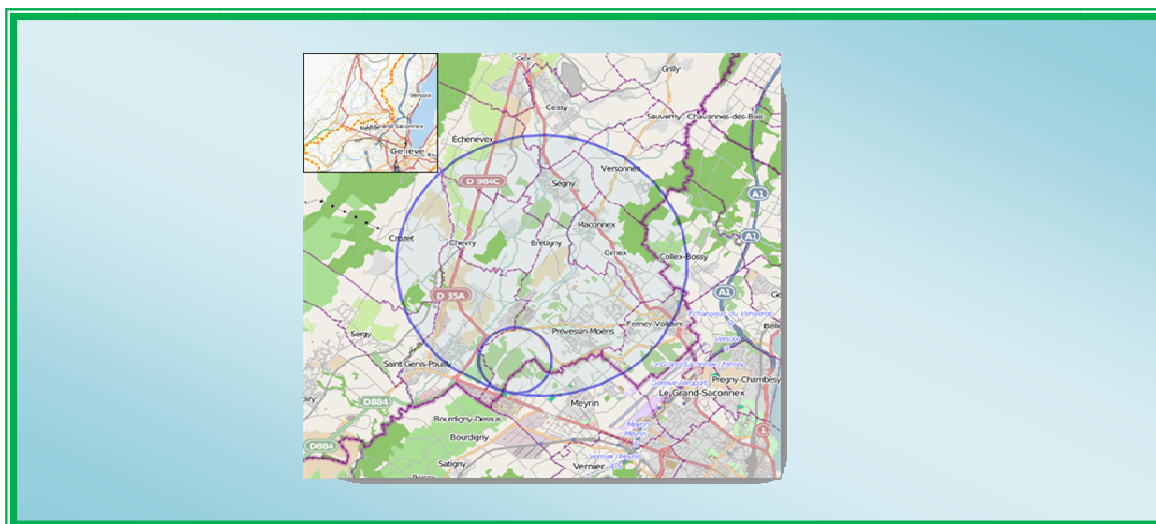


Рис. 2.16. Карта местности и географическое расположение коллайдера

В педагогической практике при оценивании знаний студентов уже давно используют свойство нечеткости информации, в основе которого лежит понятие нечеткой меры. Многие научно-педагогические работники в своей научно-педагогической деятельности осуществляют оценивание объектов, процессов, явлений, знаний и т.д. на основе комбинированного представления четких и нечетких мер, выраженных лингвистическими переменными. Например, знания студентов оцениваются на хорошо с плюсом. Другой пример - в рецензиях на учебные пособия, учебники можно встретить нечеткую оценку «не совсем удачно сформулированы».

Основные сведения об ученом-изобретателе, который расширил понятие «точность информации» и ввел понятие нечеткости информации (нечеткие множества, нечеткие отношения, функция принадлежности и т.д.).

*Достоверность* информации определяется ее свойством отражать реально существующие объекты с необходимой точностью.

Свойство достоверности информации связано с психологическими механизмами формирования и реализации знаний человеком. Они в педагогической и научной деятельности педагога играют важную роль при формировании системы как учебных, так и научных знаний. Самым простым способом обеспечения высокой достоверности учебной информации, например, при подготовке преподавателем учебного пособия, является способ сравнения информации, представленной в нескольких источниках (см. рис. 2.17).

На примере размещения Большого адронного коллайдера видно, что приведенная географическая карта (см. рис. 2.16), где показано точное

расположение ускорителя элементарных частиц, повышает достоверность информации о его месторасположении.

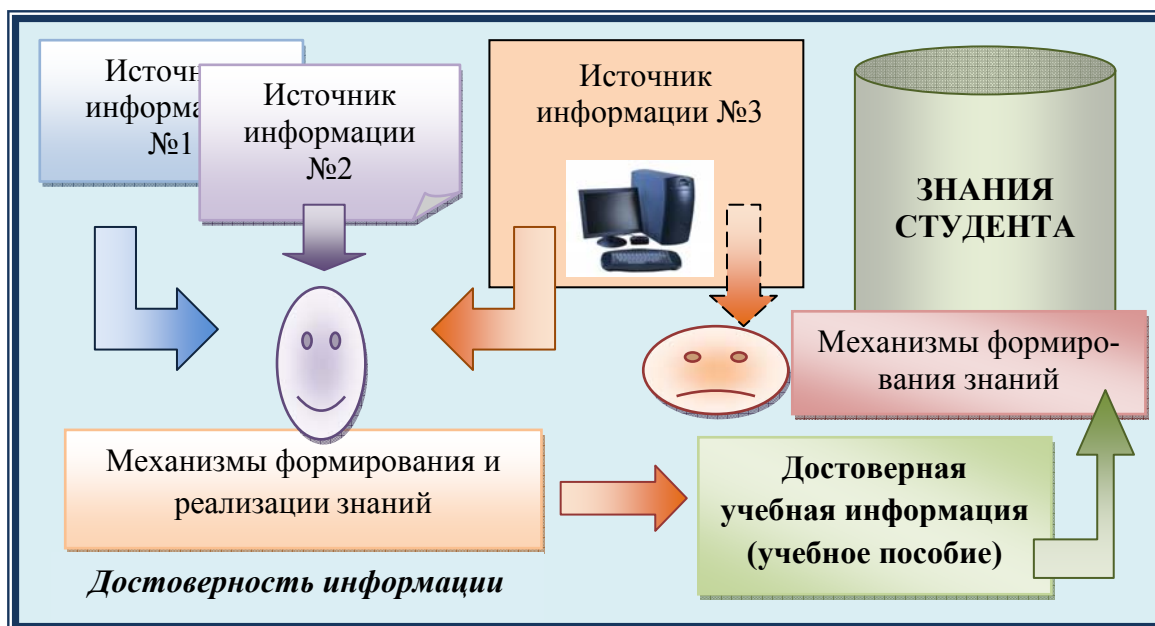


Рис. 2.17. Схема способа обеспечения достоверности учебной информации

Одним из способов оценки достоверности научной информации является ее сравнение с первоисточником, который написан автором и изложен его родным языком. Кроме того, достоверность результатов научных исследований, интерпретируемых как научная информация, обеспечивается использованием исходных данных, полученных эмпирическим путем.

*Полезность (ценность)* - свойство информации, индицируемое вследствие решения, сделанного в той или иной ситуации, и выражается в материальных, временных, финансовых и других затратах или приобретениях для лица, принимающего решение. Данное определение справедливо и для последствий групповых решений.

Свойство полезности информации изучается в теории игр, теории полезности и других теориях. Оно является одним из основополагающих свойств учебной и научной информации, циркулирующей в системе высшего образования.

Зададимся рядом вопросов. Думает ли абитуриент о пользе обучения в том или ином вузе, по той или иной специальности? Думает ли студент о пользе изучения профессионально-ориентированных дисциплин и их влиянии на успешность карьерного роста после окончания вуза? Приносит ли пользу государству высшее учебное заведение, обучая студентов по

конкретным специальностям? Подобных вопросов можно сформулировать множество, и ответы на них будут однозначно позитивны. Учитывая, что вуз является информационной системой и в нем протекают процессы принятия научно-педагогических решений, в основе которых лежат информационные процессы, можно поставить в соответствие каждому принимаемому решению некоторую ожидаемую полезность. Деятельность каждого участника научно-педагогического процесса вуза и его подразделений можно описать некоторой функцией полезности. Проиллюстрируем зависимость полезности учебной информации от материальных затрат на приобретение знаний по некоторой учебной дисциплине (см. рис. 2.18). Здесь раздельно показаны процесс преподавания, интерпретируемый как процесс актуализации преподавателем учебной информации, и процесс изучения учебного материала дисциплины, представленного процессом принятия студентом некоторых решений на занятиях в моменты времени  $t_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

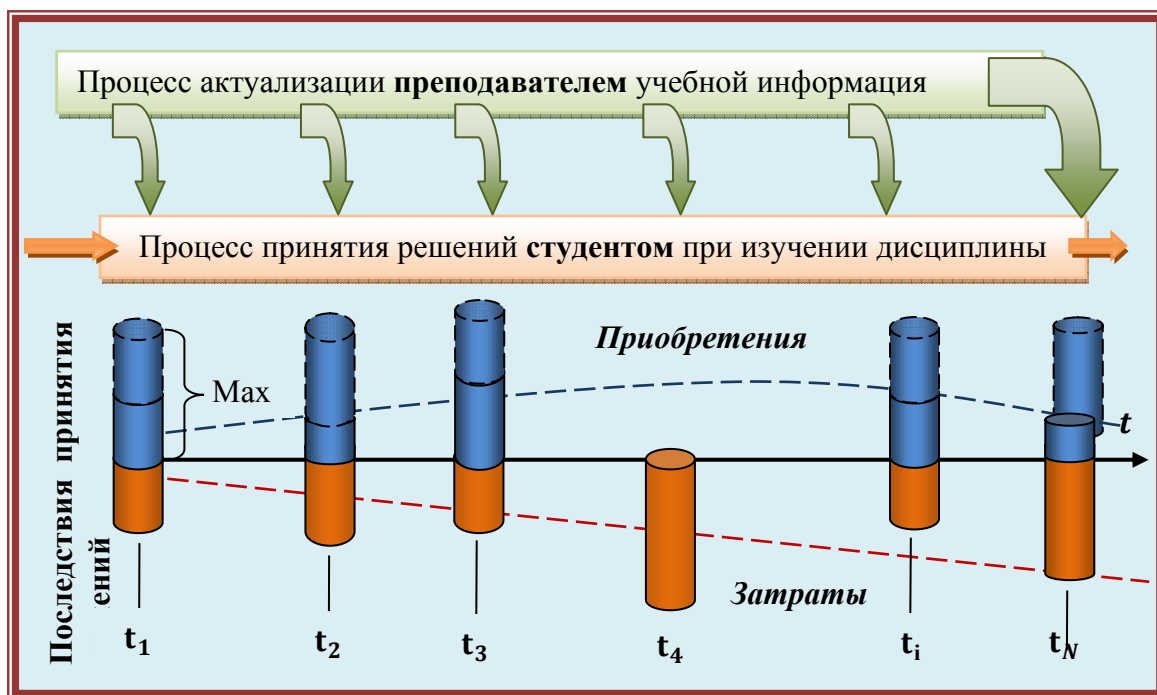


Рис. 2.18. Иллюстрация зависимости приобретения знаний и затрат на их получения

В нижней части рис. 2.18 условно показаны последствия принятых решений. Выше оси времени пунктирной линией показаны знания, которые мог бы приобрести студент на соответствующих занятиях, а сплошной линией – реально приобретенные им знания.



Так как, время обучения в зависимости от квалификации преподавателя можно оценить в денежном эквиваленте, то ниже оси времени расположим затраты на обучение студента, соответствующие разности максимально возможного количества знаний на реально приобретенные знания.

Рассматривая граничные значения функции полезности, можно утверждать, что если студент на каждом занятии усваивает максимальное количество информации, то и польза от такого обучения будет максимальной.

Другое граничное значение функции полезности обучения студента характерно для случая, когда студент не ходил на занятия и не приобретал знания. Последствия таких решений приводят к неоправданным максимальным затратам. Затраты на обучение студентов формируются из выплат зарплаты преподавателю, амортизационными, энергетическими затратами и др.

## **2.4 Сложные информационно-управляющие системы и их архитектура**

Воспользуемся методами системного анализа, а именно, методами агрегирования, декомпозиции, классификации и др., с целью выявления особенностей архитектуры сложных информационно-управляющих систем, применяемых в системе «высшая школа Украины».

Современный этап развития информационных технологий характеризуется использованием информационно-управляющих систем, под которыми понимают в *широком смысле (SH)* – совокупность технического, программного, организационного и других видов обеспечения, предназначенная для обслуживания информационных потребностей пользователей и автоматизированной выработки решений. В обобщенном виде такую систему можно проиллюстрировать рис. 2.19.

В *узком смысле (YS)* информационно-управляющую систему рассматривают как аппаратно-программный комплекс, предназначенный для автоматизации целенаправленной деятельности конечных пользователей. В любом случае основной задачей информационно-управляющей системы является удовлетворение конкретных информационно-управляющих потребностей в рамках конкретной предметной области. Рассматривая «систему высшей школы Украины» как информационно-управляющую систе-



му, можно утверждать, что ее основными подсистемами являются вузы с их организационно-технической структурой.

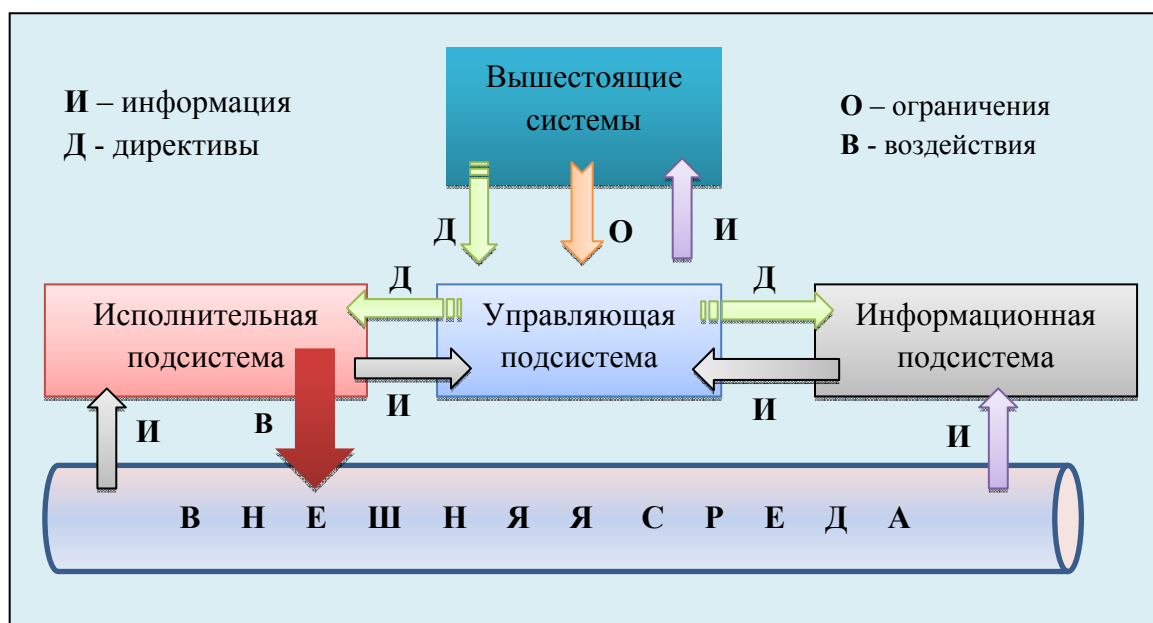


Рис. 2.19. Сложная одноуровневая информационно-управляющая система

В узком смысле информационно-управляющей системой является любой участник учебного процесса, использующий компьютер в учебных и воспитательных целях.

Информационно-управляющие системы классифицируются по нескольким признакам.

*Классификация информационных систем по их архитектуре.* В теории построения информационных систем различают два класса. Настольные и распределенные. Кроме того, информационные системы, построенные на базе вычислительных сетей, могут быть локальными, региональными и глобальными. На рис. 2.20 показано, что вуз имеет сложную организационно-техническую структуру, которая содержит как настольные ПК, так и распределенные локальные вычислительные сети. Для системы высшей школы на региональном уровне (город, область) информационной системой является региональная вычислительная сеть, которая предназначена для решения задач управления высшими и другими учебными заведениями. Региональные вычислительные сети в совокупности можно считать глобальной информационной системой государства, решающей задачи образования и воспитания граждан.

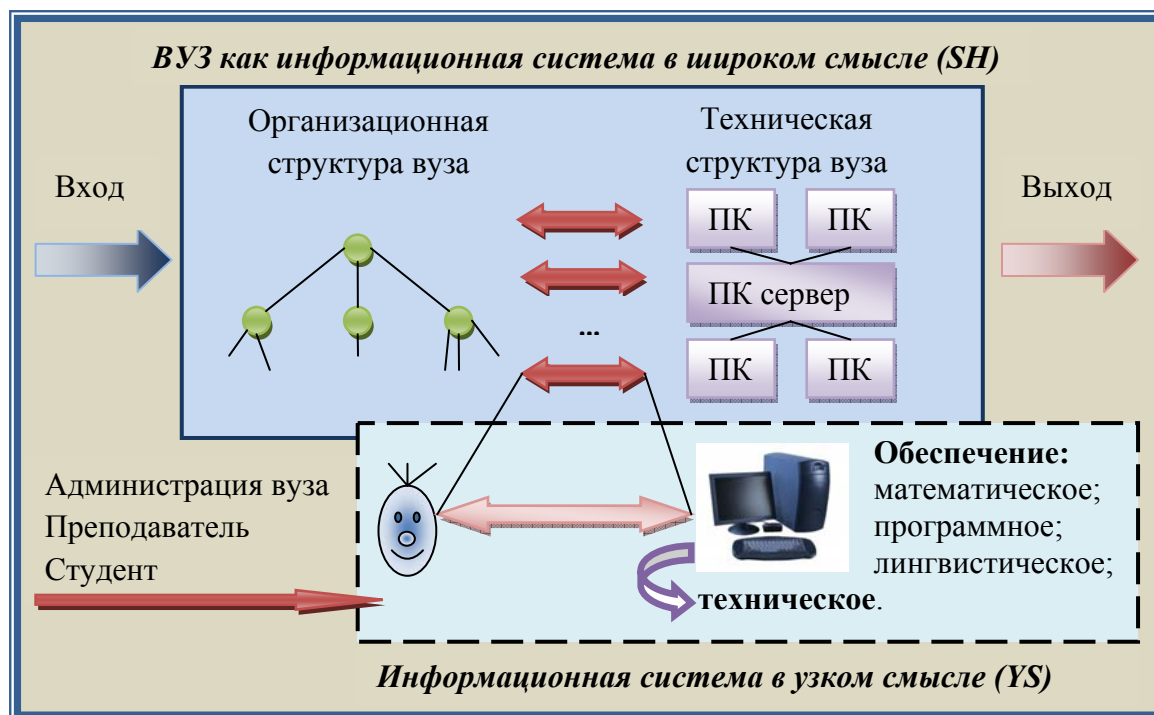


Рис. 2.20. Иллюстрация вуза как информационной системы

Как правило, техническая часть, т.е. локальная вычислительная сеть, строится с учетом специфики организационной структуры вуза и с отдельными компьютерными классами и информационно-вычислительными центрами. Рассмотрим основные топологические схемы архитектуры вычислительных сетей вуза (см. рис. 2.21 – 2.24).

Топология «общая шина», как правило, используется в вузах для создания учебных компьютерных классов, так как обладает рядом преимуществ. Например, отказ одного из компьютеров не влияет на работу сети в целом; сеть легко настраивается и конфигурируется и устойчива к неисправностям отдельных компьютеров.

Топология «общая шина» позволяет создать компьютерный класс в составе до 30 компьютеров. К недостаткам топологии «общая шина» можно отнести следующие: разрыв кабеля может существенно повлиять на работу всей сети; существуют ограничения на длину кабеля и количество компьютеров в сети.

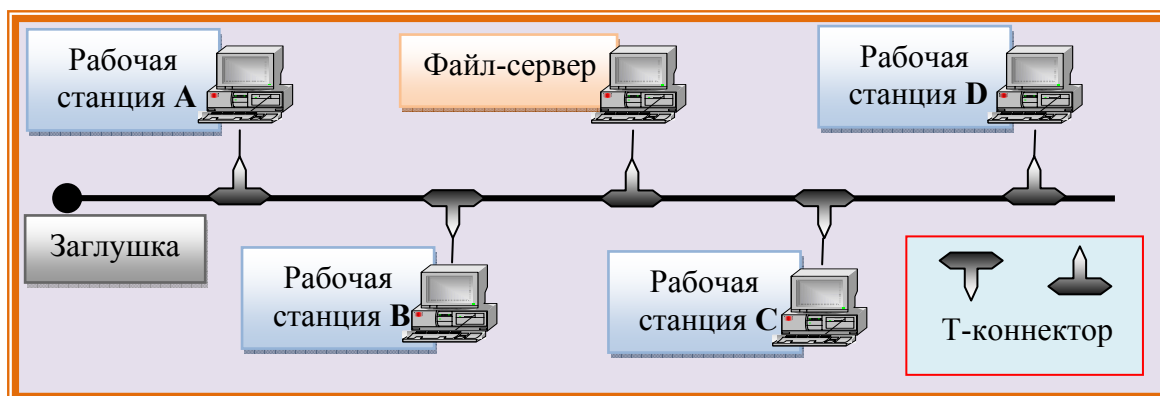


Рис. 2.21. Фрагмент вычислительной сети топологии «общая шина»

На рис. 2.22 и рис. 2.23 проиллюстрированы фрагменты вычислительных сетей с топологией «кольцо» и «звезда», которые используются при создании вычислительных сетей кафедр, специальных лабораторий и обслуживающих подразделений вуза. Как правило, вычислительная сеть с топологией «кольцо» применяется редко, так как имеет существенный недостаток.

Неисправности одного компьютера сети или повреждения кабеля приводит сеть в неработоспособное состояние. Поэтому данная топология модифицируется и используется совместно с другими топологиями. Смешанная топология будет рассмотрена ниже.

Вычислительная сеть с топологией «звезда» также имеет ряд достоинств и недостатков. К достоинствам относят следующие: легкое подключение новых компьютеров; имеется возможность централизованного управления сетью и устойчивость к неисправностям отдельных компьютеров сети.

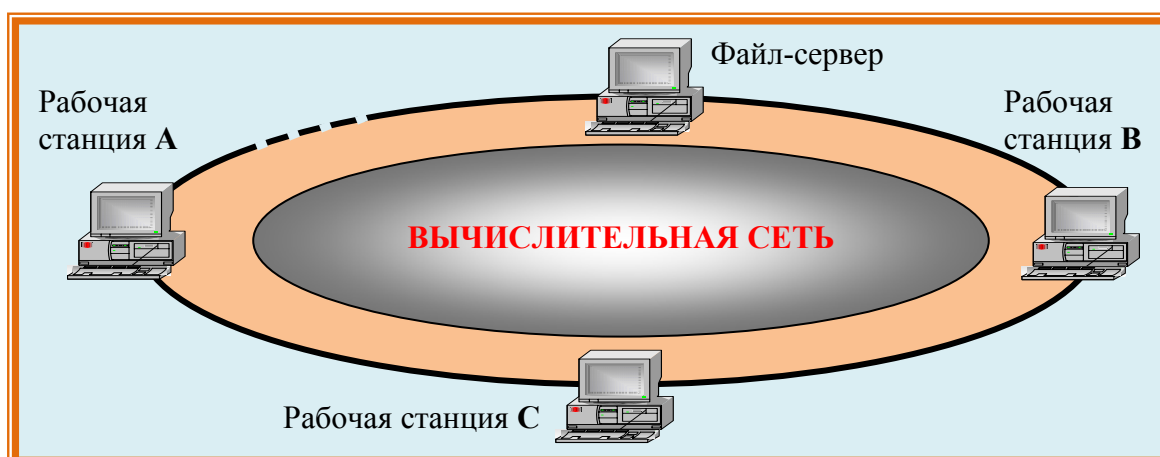


Рис. 2.22. Фрагмент вычислительной сети топологии «кольцо»

Недостатком топологии «звезда» считают большой расход кабеля и возможность отказа всей сети в случае выхода из строя файл-сервера (хаба). Этим и других недостатков лишена вычислительная сеть, построенная по смешанной топологии (см. рис. 2.24). Большинство локальных вычислительных сетей вузов построены именно с использованием смешанной топологии.

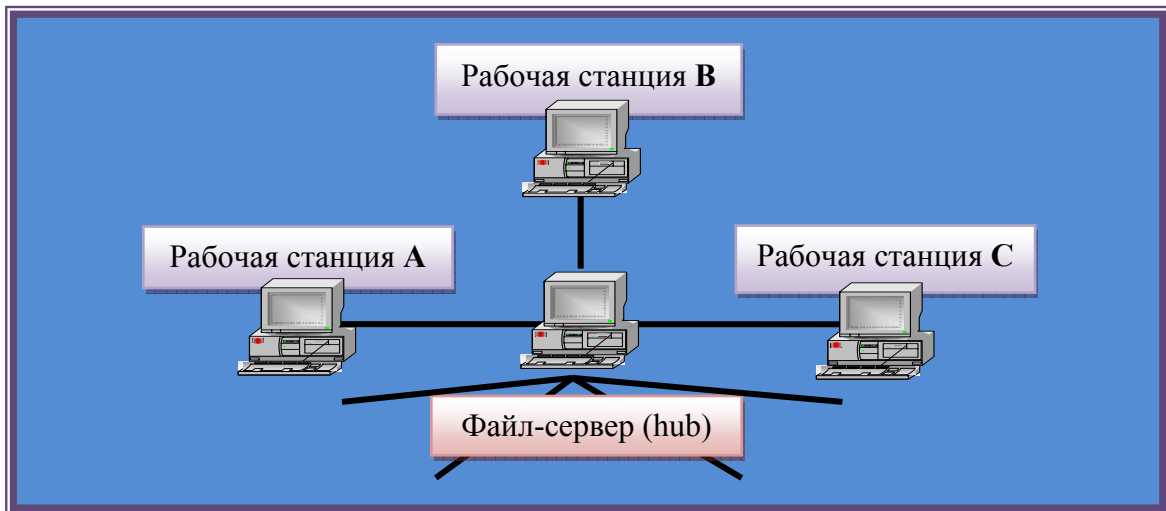


Рис. 2.23. Фрагмент вычислительной сети топологии «звезда»

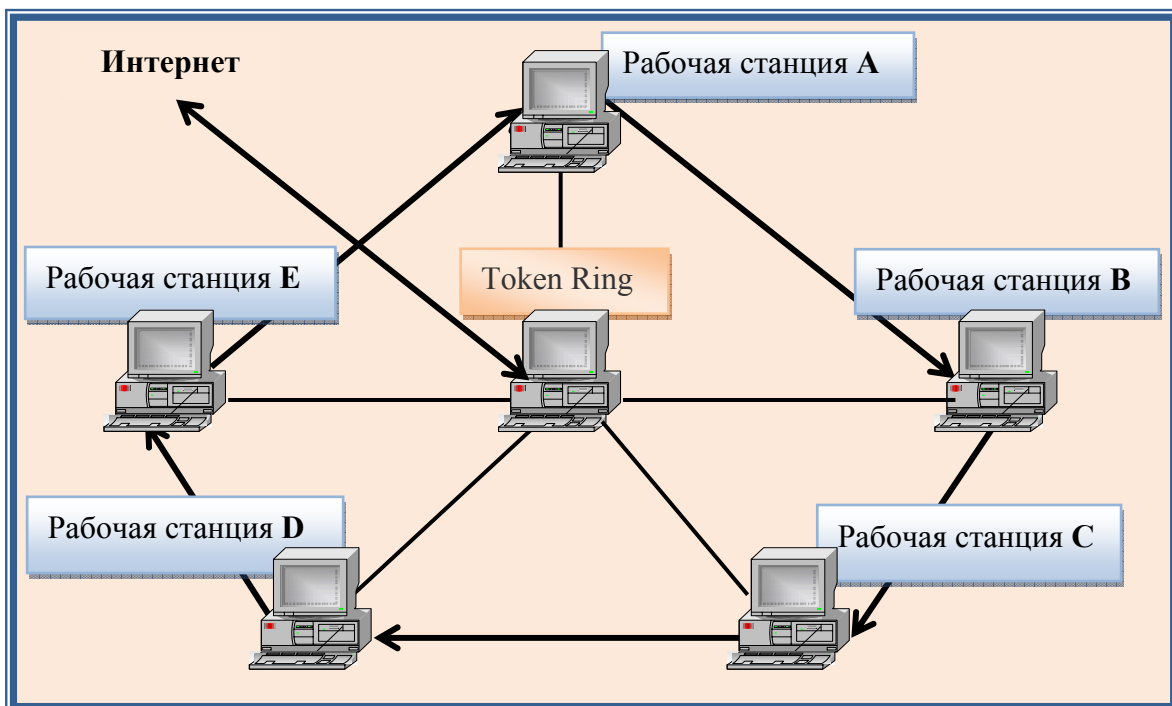


Рис. 2.24. Вычислительная сеть со смешанной топологией

*Классификация информационных систем по характеру обработки данных.* Здесь выделяют два крупных класса информационных систем. К первому классу относят информационно-справочные и информационно-поисковые системы. В крупных высших учебных заведениях такими системами оснащаются библиотеки, информационные центры и некоторые другие подразделения вузов, осуществляющие хранение и учет большого количества данных о личном составе, материальных ценностях и т.д.

Ко второму классу относят автоматизированные системы управления учебными процессами и системы поддержки принятия педагогических решений. В этом классе многие вузы используют лицензионную систему Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment), что в переводе с английского языка обозначает – модульная объектно-ориентированная динамическая учебная среда, которая ориентирована на организацию взаимодействия между преподавателями и студентами. Она позволяет организовывать дистанционные курсы, а также поддержку очного обучения.

Высшее учебное заведение как информационную систему трудно отнести по рассматриваемому признаку к какому-либо из двух классов.

По характеру обработки данных вуз занимает особое место в данной классификации и может быть представлен некоторой интегральной информационно-управляющей системой. Понятие интегрированной системы стандартизовано (см. ДСТУ 2941-94). Здесь *интегрированная система* определена как совокупность двух или более взаимосвязанных систем, в которой функционирование одной из них зависит от результатов функционирования другой (других), поэтому эту совокупность можно рассматривать как единую систему.

*Классификация информационных систем по сфере применения.* По этому признаку как высшее учебное заведение, так и систему высшей школы в целом, можно отнести к классу образовательных систем.

*Классификация информационных систем по охвату задач (масштабности).* Система высшей школы решает множество разнотипных задач, которые можно объединить в группы, и решение которых осуществляются на разных уровнях ее иерархии.

На высшем уровне системы «высшая школа» решаются стратегические и политические задачи управления высшим образованием в государстве. На региональном уровне системы «высшая школа», интегрируется информация о системах высшего образования городов и регионов. Для

этого решаются задачи анализа и обобщения успешности работы высших учебных заведений и других образовательных подразделений регионального уровня. На уровне высших учебных заведений непосредственно решаются задачи обучения и воспитания студентов и другие задачи, связанные с научной деятельностью каждого научно-педагогического работника и вуза в целом.

С учетом сложности структуры и специфики задач, решаемых системой высшего образования, можно утверждать, что она представляет собой интегрированную информационно-управляющую систему, и сама образует несколько классов систем. Она содержит класс менее масштабных интегрированных информационно-управляющих систем регионального уровня, которые решают задачи управления высшими учебными заведениями, а также научными и другими подразделениями системы высшей школы. В высших учебных заведениях доминируют процессы преобразования информации в знания и обратно (процессы обучения и воспитания), которые образуют класс информационных знание ориентированных систем. Поясним сказанное рис. 2.25.

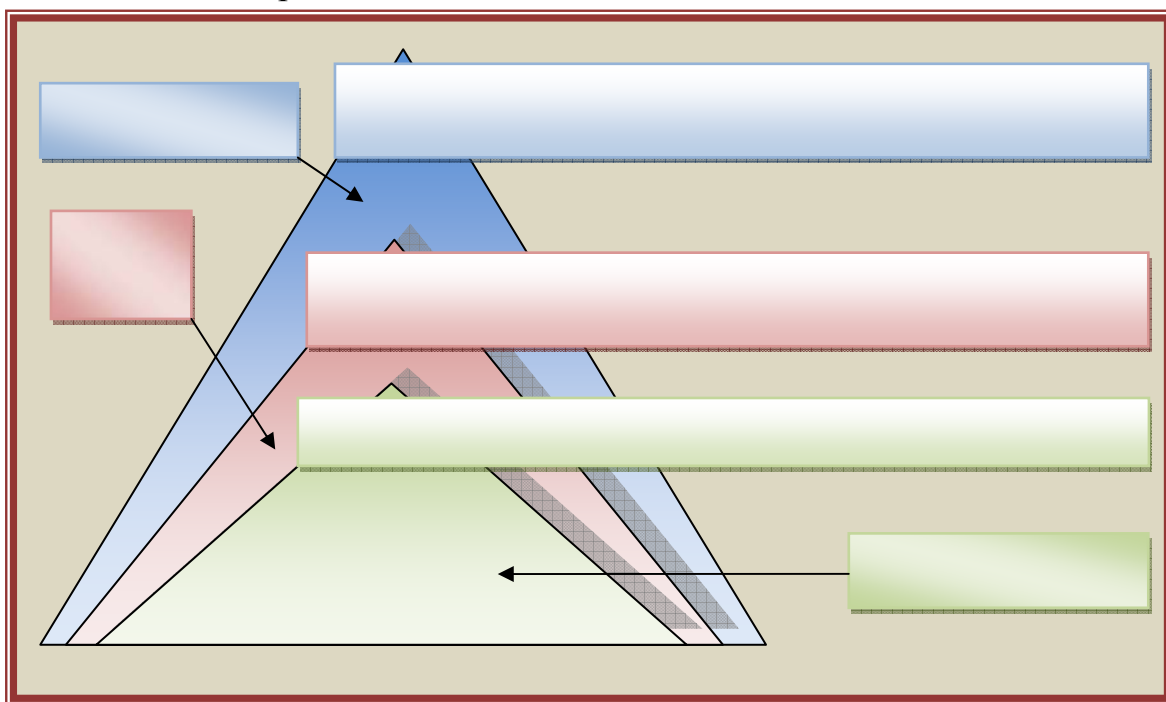


Рис. 2.25. Обобщенная схема соответствия степени интеграции и информатизации уровням управления в интегрированной информационно - управляющей системе высшего образования

Здесь приведена в обобщенном виде иерархическая структура интегрированной информационно-управляющей системы (ИИУС) высшего об-

разования с соответствующей оценкой степени интеграции и информатизации. Низкая степень интеграции и информатизации в широком смысле рассматриваемой системы показана символом  $SH \downarrow$ , а высокая степень информатизации в узком смысле показана символом  $YS \uparrow$ . По аналогии степень интеграции и информатизации для интегрированных информационно-управляющих систем регионального уровня показана такими же символами. Информационные знаниеориентированные системы, т.е. высшие учебные заведения, имеют среднюю степень интеграции и информатизации как в широком смысле  $SH \rightarrow$ , так и в узком смысле  $YS \rightarrow$ .

Иерархическая структура, вложенный характер систем и подсистем, а также представление информационных систем в широком и узком смысле обуславливают определенный порядок построения и организации *основных элементов* информационных систем – *баз данных* и *баз знаний*, если таковые используются для решения информационно-управленческих задач в системе высшей школы.

Воспользуемся стандартизованными терминами и определениями этих понятий (см. ДСТУ 28764-94).

*База данных* – совокупность взаимосвязанных данных, организованных согласно схеме базы данных так, чтобы с ними мог работать пользователь.

*Распределенная база данных* – база данных, физически распределенная на две или больше компьютерных системы.

*Система управления базами данных (СУБД)* – совокупность программных и языковых средств, которые обеспечивают управление базами данных.

Учитывая приведенные определения и сложную иерархическую структуру высшей школы можно утверждать, что в основе ИИУС должна лежать распределенная база данных, структура которой показана на рис. 2.26.

В базах данных информация может храниться в трех видах. При проектировании баз данных используют следующие модели представления данных: модель данных с *иерархической*, *сетевой* и *реляционной* структурами. В случае построения распределенных баз, данных используются комбинированные модели представления данных.

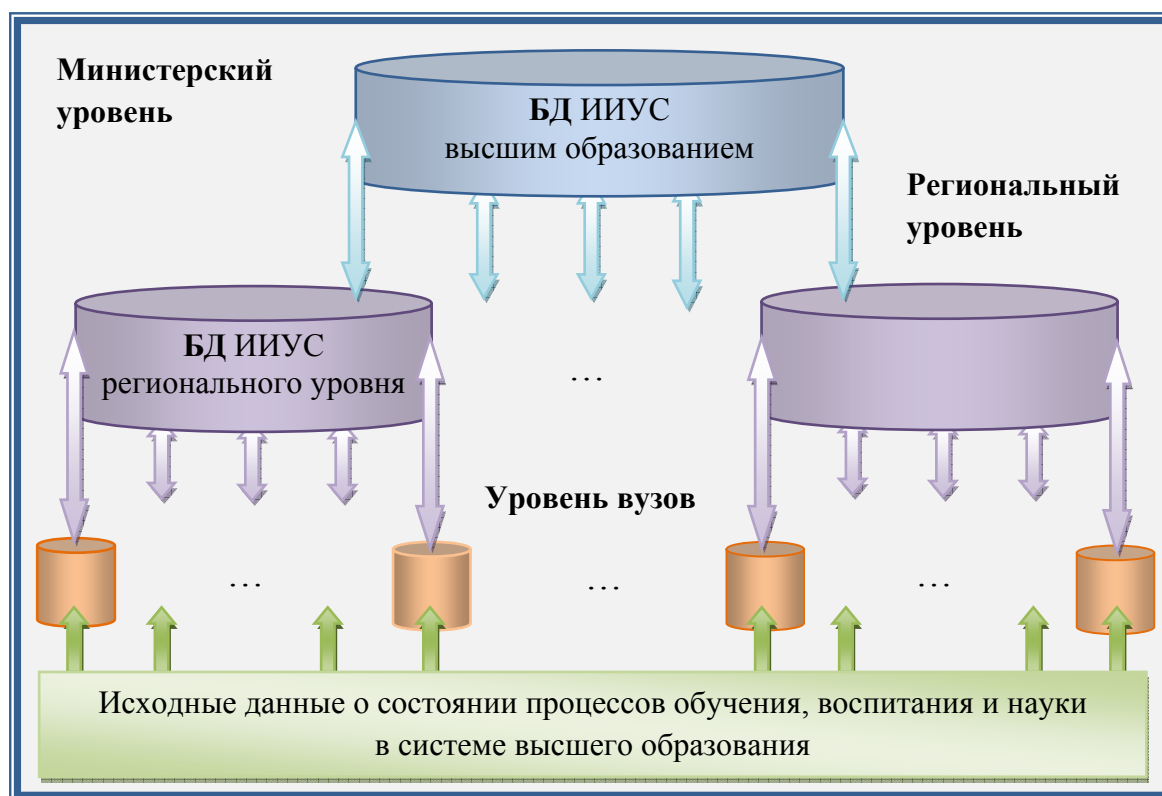


Рис. 2.26. Обобщенная схема распределенной базы данных интегрированной информационно-управляющей системы высшим образованием

Например, данные об образовательных стандартах имеют иерархическую структуру и должны размещаться в соответствии с их уровнями иерархии. Такую же структуру могут иметь данные при проектировании информационно-управляющей системы вуза «учебный отдел» → «деканаты» → «кафедры». Наиболее распространенной моделью представления данных является реляционная модель, т.е. представление данных в виде двумерных таблиц, которые часто используются при выполнении лабораторных работ, практических заданий, курсового и дипломного проектирования.

Реляционная модель данных использована корпорацией Microsoft Office при создании программы для работы с электронными таблицами Excel, которая обеспечивает при необходимости экономико-статистические расчеты и строить соответствующие графики.

Эта же корпорация разработала реляционную СУБД Access, которая имеет широкий спектр функций, включая связанные запросы, связь с внешними таблицами и базами данных, что позволяет ее использовать не



только в учебном процессе, но и для информатизации и автоматизации различных видов обеспечения системы высшей школы.

Многие преподаватели на основе самостоятельно полученных знаний в области информатики создают информационные системы в виде экспертно-обучающих систем, автоматизированных учебных курсов, автоматизированных тестирующих программ, интеллектуальных словарно-справочных средств и т.д.

С одной стороны, создание таких автономных информационных систем повышает качество и эффективность деятельности педагогов, с другой стороны, их разнотипность и структурное многообразие создает проблемы, связанные с унификацией и стандартизацией программного обеспечения информационных систем в сфере образования. Кроме того, разнотипность информационных систем затрудняет их использование в распределенной базе данных, обобщенная структура которой показана на рис. 2.26. Вместе с тем, отдельные обучающие информационные системы обладают интеллектуальными свойствами и представляют собой модель профессиональных знаний преподавателя. Такие системы называются *интеллектуальными* и в ДСТУ 2481–94 определены как системы, обеспечивающие решение неформализованных задач пользователя в некоторой предметной области и организующие их взаимодействие с компьютером в привычных понятиях, терминах, образах. В этом же стандарте определены следующие понятия интеллектуальных систем.

*База знаний (БЗ)* - упорядоченная совокупность правил, фактов, механизмов вывода и программных средств, описывающая некоторую предметную область и предназначенная для представления накопленных в ней знаний.

*Система управления базой знаний (СУБЗ)* – совокупность программных и аппаратурных средств для организации и ведения базы знаний.

*Интеллектуальный интерфейс* – совокупность аппаратурных и программных средств, обеспечивающих взаимодействие интеллектуальной системы с пользователем на основе привычных понятий, терминов, образов, присущих определенной сфере интеллектуальной деятельности человека.

Таким образом, рассмотрены особенности построения сложных информационно-управляющих систем на примере высшей школы Украины и показаны топологии вычислительных сетей, используемых в вузах.

## 2.5 Моделирование сложных систем

### 2.5.1 Понятие «модель» и «моделирование»

Первоначально *моделью* называли некое *вспомогательное средство, объект, который в определенной ситуации заменял другой объект*. При этом далеко не сразу была понята универсальность законов природы, всеобщность моделирования, т.е. не просто возможность, но и необходимость представлять любые наши знания в виде моделей.

Древние философы считали, что объекты природы можно представить только словестным описанием в результате споров или рассуждений, говоря современной терминологией – языковыми (вербальными) моделями. В результате долгое время понятие «модель» относилось только к материальным объектам специального типа, например, манекен, модели судов, чучел зверей (модели животных) и т.д.

С развитием цивилизации использовались разные толкования термину «модель». Например, моделью называется некий объект-заместитель, который в определенных условиях может заменять объект оригинал, причем имеет существенные преимущества удобства (наглядность, обозримость, доступность испытаний, легкость оперирования с ним и др.).

Одним из этапов развития моделирования был этап осознания модельных свойств чертежей, карт, топологических схем, рисунков и т.д., а также осознания того, что моделями могут служить не только реальные объекты, но и абстрактные, идеальные построения. Типичным примером этому служат математические модели. В результате деятельности математиков, логиков и философов была создана теория моделей. В этой теории модель определяется как результат отображения одной абстрактной математической структуры на другую, также абстрактную, либо как результат интерпретации первой модели в терминах и образах второй.

Подводя итог краткому экскурсу в развитие понятия «модель» и «моделирование» можно сделать вывод, что модель, есть способ существования знаний.

## 2.5.2 Виды моделей систем

### *Модель «черного ящика»*

Перейдем от первого определения системы (см. п.п. 1,3) к его визуальному эквиваленту. Во-первых, приведенное определение ничего не говорит о внутреннем устройстве системы. Поэтому ее можно изобразить в виде непрозрачного «ящика», выделенного из окружающей среды (см. рис. 2.27). Подчеркнем, что уже эта, максимально простая, модель по-своему отражает два следующих важных свойства системы: целостность и обособленность от среды. Во-вторых, в определении системы косвенно говорится о том, что хотя «ящик» и обособлен, выделен из среды, но не является полностью от нее изолированным.

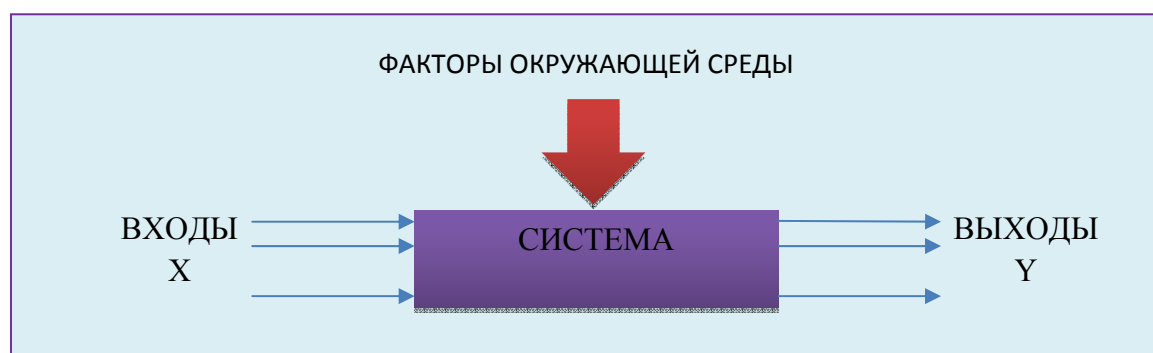


Рис. 2.27. Модель «черного ящика»

Иначе говоря, система связана со средой и с помощью этих связей воздействует на среду. Эти связи называются выходами системы. Подчеркнем еще раз, что выходы системы в данной графической модели соответствуют слову «цель» в словесной модели системы (в первом определении). Кроме того, система является средством, поэтому должна существовать и воздействия на нее, т.е. такие связи со средой, которые направлены извне в систему, которые называются входами системы.

В результате построена модель системы, которая получила название «черного ящика» (см. рис. 2.27). Это название образно подчеркивает полное отсутствие сведений о внутреннем содержании системы. В модели задаются только входные и выходные связи системы со средой, т.е. множество  $X$  и  $Y$  входных и выходных переменных. Такая модель, несмотря на внешнюю простоту и на отсутствие сведений о внутреннем строении системы, часто оказывается очень полезной. Отметим, однако, что построение

модели «черного ящика» не является тривиальной задачей, так как на вопрос о том, сколько и какие именно входы и выходы следует включать в модель, ответ не прост и не всегда однозначен.

### *Модель состава системы*

При рассмотрении любой системы обнаруживается, что ее целостность и обособленность, отображенные в модели черного ящика, выступают как внешние свойства. Внутренность же «ящика» оказывается неоднородной, что позволяет различать составные части самой системы. При более детальном рассмотрении некоторые части системы могут быть, в свою очередь, разбиты на составные части и т.д. Те, части системы, которые рассматриваются как неделимые, называются элементами (атомарными элементами). Части системы, состоящие более чем из одного элемента, называют подсистемами. При необходимости можно ввести обозначения или термины, указывающие на иерархию частей. В результате получается модель состава системы, описывающая ее подсистемы и элементы из которых она состоит (см. рис. 2.28).

### *Модель структуры системы*

Несмотря на полезность рассмотренных выше моделей систем, существуют проблемы, решить которые с помощью таких моделей нельзя. Например, чтобы изготовить велосипед, недостаточно иметь отдельные его детали (хотя состав системы известен). Необходимо еще правильно соединить все детали между собой. Другими словами, установить между элементами велосипеда определенные связи - отношения.

Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется структурой системы.

Очевидно, что представленные определения охватывают модели «черного ящика», состава и структуры. Все вместе они образуют еще одну модель, которую будем называть структурной схемой системы. В структурной схеме указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы).

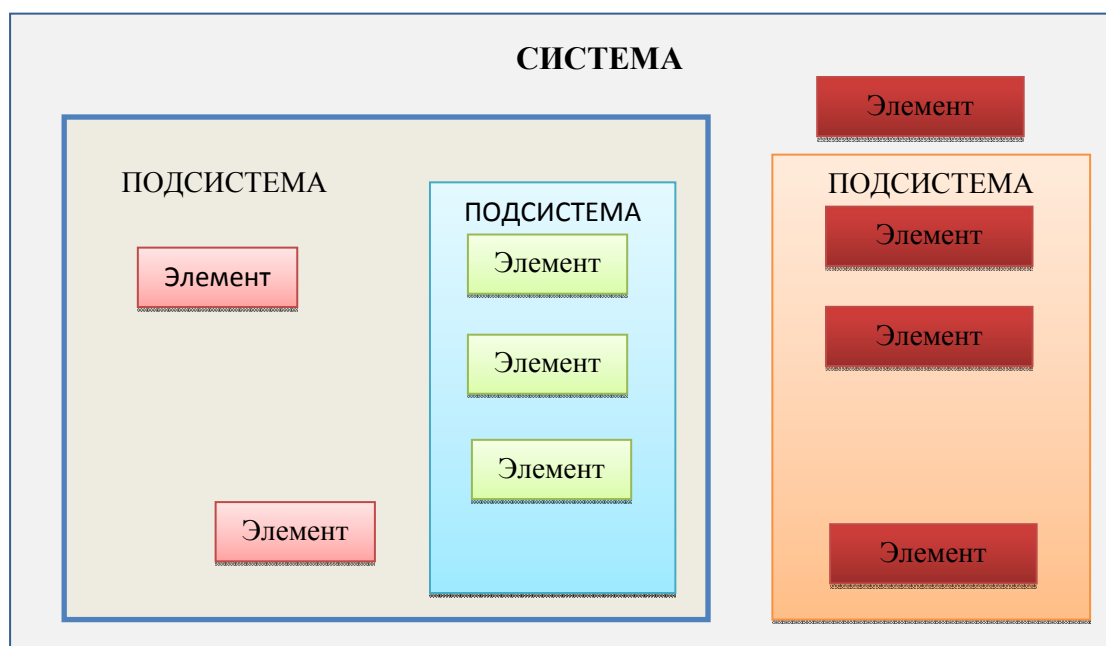


Рис. 2.28. Модель состава системы

Рассмотрим, известный всем студентам орган управления факультетом «деканат», который представляет собой сложную систему, структурная схема которого показана на рис. 2.29. Здесь показаны основные связи между учебными и научными подразделениями (подсистемами), а также связь с вышестоящим органом управления вуза, его администрацией. Кроме управляющих (входных) воздействий, система «деканат» имеет и другие входные данные, например, данные о поступивших в вуз студентов, желающих учиться на данном факультете. Что касается связей с окружающей средой и выходом системы «деканат», то эти связи очевидны. Они направлены в сторону систем экономической, социальной, политической и др.), где можно реализовать знания, умения и навыки выпускников рассматриваемого факультета. Другими словами, выходом системы «деканат» являются выпускники факультета, обладающие определенными знаниями, умениями и навыками. Кроме выпускников вуза выходным продуктом факультета можно считать продукт интеллектуальной деятельности научно-педагогических работников в виде учебно - методической литературы, научных трудов (научных статей, монографий и т.д.), разработанных программ, изобретений и т.д.

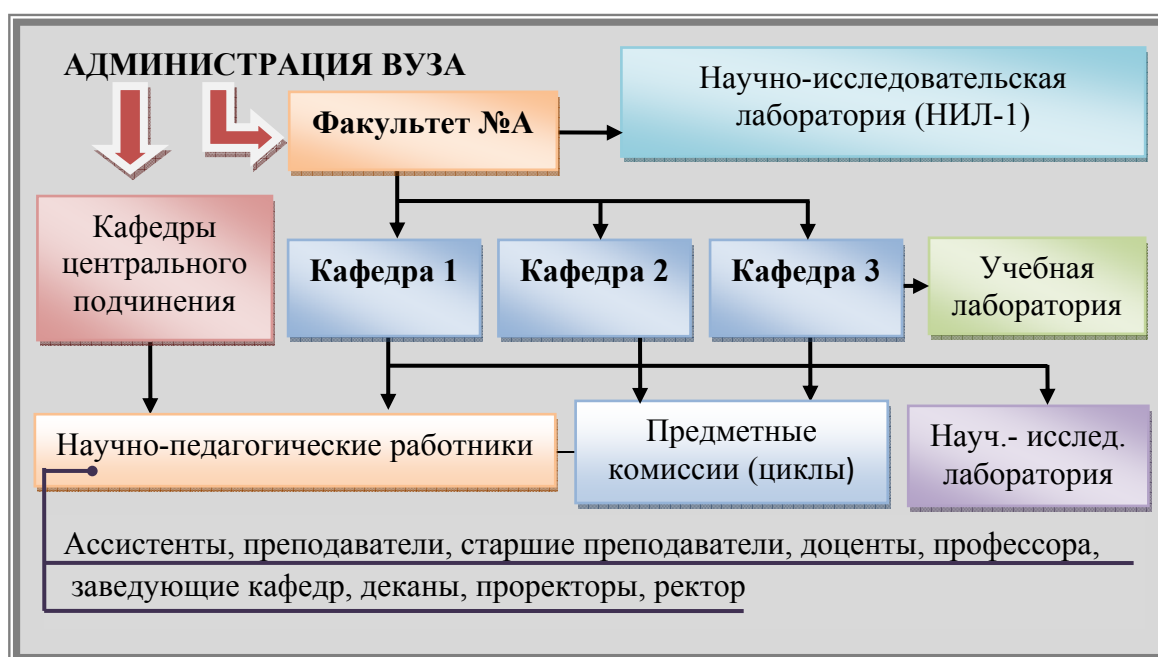


Рис. 2.29. Структурная схема некоторого факультета А

Рассматриваемая схема имеет иерархическую структуру, так как подразделения факультета (кафедры, лаборатории и т.д.) имеют собственную структуру. Поэтому иногда такие схемы называют структурными блок-схемами». В данном случае модели в виде структурных схем предназначены для управления сложными организационными системами.

Приведем еще один пример, отражающий структуру сложных, но уже технических средств. Покажем на рис. 2.30 блок-схему современного персонального компьютера. В сложных технических устройствах (системах), таких как компьютер, модель в виде блок-схемы принято называть архитектурой. Структурные модели технических систем предназначены для изучения особенностей функционирования системы, их обслуживания, ремонта и эксплуатации.

Структурная схема системы является наиболее подробной и полной моделью любой системы на данном этапе нашего познания. При этом всегда остается актуальным вопрос об адекватности этой модели, который можно решить только на практике.

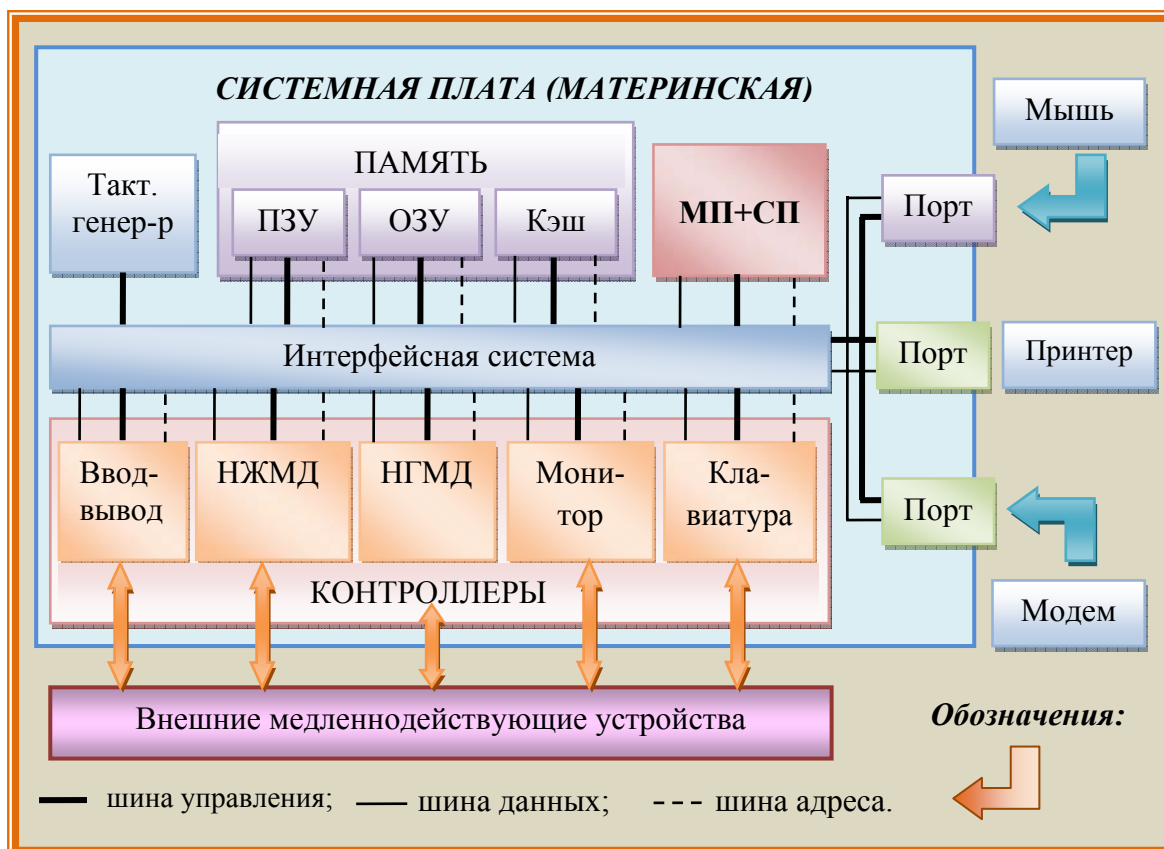


Рис. 2.30. Архитектура современного персонального компьютера (вариант)

Таким образом, на основе структурного моделирования показаны основные связи сложной организационной и технической системы.

### 2.5.3 Модели логики и динамики развития и функционирования сложных систем

До сих пор, основное внимание было уделено понятию системы, ее составу и устройству. Были рассмотрены статические модели, т.е. модели без учета временного параметра. Следующий шаг в исследовании систем состоит в том, чтобы понять и описать, как система «работает», что происходит с ней самой и окружающей средой в ходе реализации поставленной цели.

Системы, в которых происходят какие бы то ни было изменения со временем называются динамическими, а модели, отображающие эти изменения, - *динамическими моделями систем*.

Для разных объектов и систем разработано большое количество динамических моделей, описывающих процессы с различной степенью дета-

лизации. Однако всегда развитие моделей происходит в той же последовательности, как это было изложено выше: от «черного ящика» к «белому ящику», раскрывающему суть функционирования и развития систем. Возникает вопрос, что задает динамику в сложных динамических системах. В рассмотренной выше системе «факультет» ее динамика определяется законами о высшем образовании, уставом вуза, соответствующими инструкциями, расписанием учебных занятий, функциональными обязанностями участников учебного процесса и другими директивными документами.

Различают два параллельных динамических процесса, которые, с одной стороны отражают ее эволюцию (модернизацию), а с другой стороны, функционирование, обеспечивающее достижение, тех или иных целей.

### *Развитие и функционирование и сложных систем*

Уже на этапе исследования «черного ящика» различают два типа динамики системы: функционирование и развитие. Под функционированием подразумевают процессы, которые происходят в системе, стабильно реализующей фиксированную цель. Функционируют, например, компьютер, копировальные аппараты, городской транспорт, средства передачи информации, подъемные механизмы и т.д.

Эволюционным развитием называют то, что происходит с системой при изменении ее целей. Характерной чертой эволюционного развития является тот факт, что существующая структура перестает соответствовать новой цели. Для обеспечения выполнения новой функции приходится изменять структуру, а иногда и состав системы, т.е. перестраивать всю систему.

Ярким примером эволюционного развития могут служить вычислительные средства, которые прошли путь в 372 года от механического арифмометра, изобретенного в 1642 году Блезом Паскалем до современных электронных вычислительных персональных средств в виде персональных компьютеров (ПК). Если целевым назначением арифмометра Паскаля было ускорение вычисления арифметических операций при сборе налогов, так как отец Паскаля был сборщиком налогов, то современные ПК являются многоцелевыми и могут использоваться для вычислений, управления, мониторинга, контроля, построения моделей и т.д. На рис. 2.31, а) и б) для сравнения показан внешний вид (черный ящик) машины Паскаля и современного ПК.



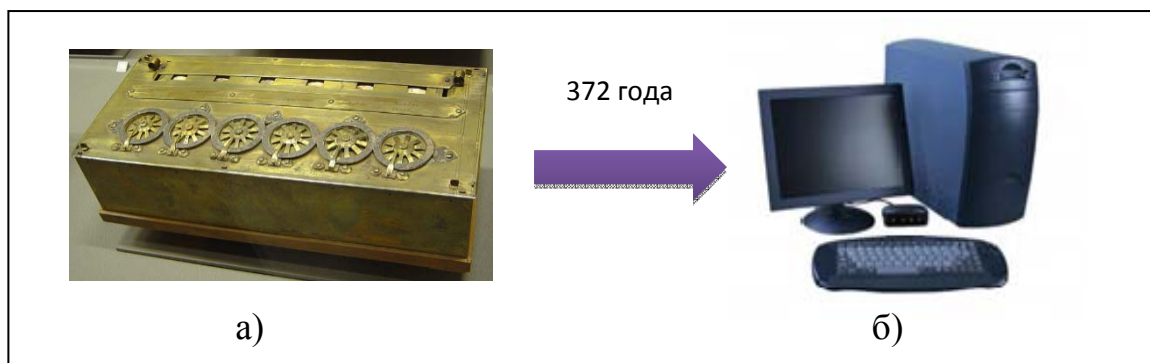


Рис. 2.31. Общий вид машины Паскаля и современного ПК

Рассмотрим логику функционирования сложных систем, используя при этом примеры функционирования современных вычислительных средств. Ранее было отмечено, что динамические модели предназначены для изучения и познания сложных динамических систем. Для создания моделей таких систем используют понятие алгоритма. По определению алгоритм - это набор инструкций, описывающих порядок действий исполнителя для достижения результата решения задачи за конечное число действий.

На рис. 2.32 покажем эволюцию структуры вычислительных средств.

Если функционирование арифмометра Паскаля можно задать простой последовательностью арифметических операций, то это не требует графической интерпретации (построения динамической модели, т.е. алгоритма), с целью получения результата вычислений. Такие алгоритмы называют линейными. Логика функционирования современных вычислительных средств значительно сложнее. Рассматривая функционирование ПК как сложный процесс различают два вида алгоритмических моделей.

Во-первых, это алгоритмические модели собственно функционирования вычислительных средств. Например, на рис. 2.33 показан один из комплекса алгоритмов, обеспечивающих функционирование ПК - алгоритм опроса матричной клавиатуры.

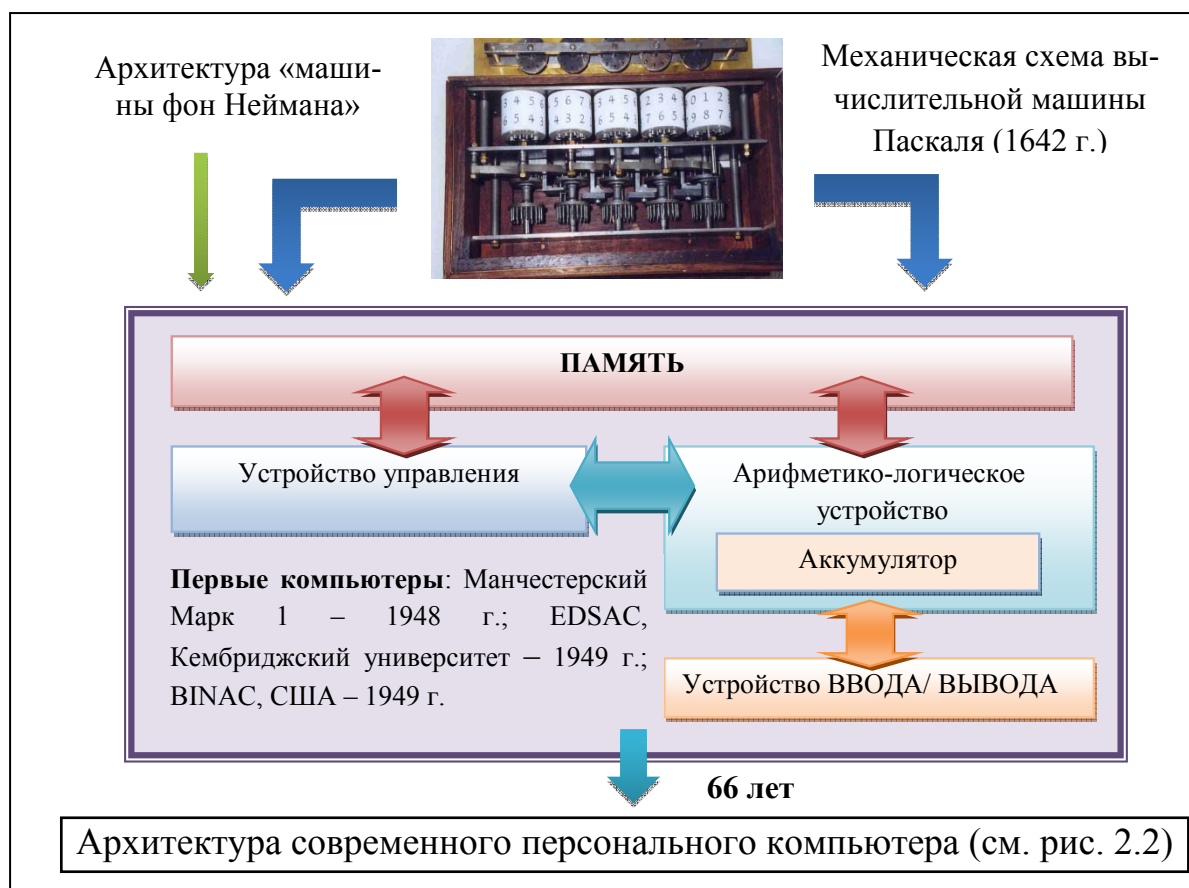


Рис. 2.32. Иллюстрация эволюционного развития структуры вычислительных средств

Алгоритмическая модель или блок-схема алгоритма опроса клавиатуры ПК состоит из блоков, функциональное назначение которых приведено на рис. 2.34.

Во-вторых, это алгоритмические модели прикладных задач, которые решаются при помощи вычислительных средств. Одной из распространенных прикладных задач является задача выбора при принятии решений человеком. Покажем на рис. 2.35 в обобщенном виде алгоритмическую модель решения, на первый взгляд, этой простой задачи.

В зависимости от условий и сложности процессе моделирования на практике используют следующие способы создания алгоритмических моделей:

- вербальный или пошагово словесный;
- формального представления в виде математических формул;
- табличный, задающий бинарные отношения;
- с использованием языка блок-схем, показанный на примерах выше;
- с использованием машинных кодов;

- с использованием одного из языков или систем программирования.

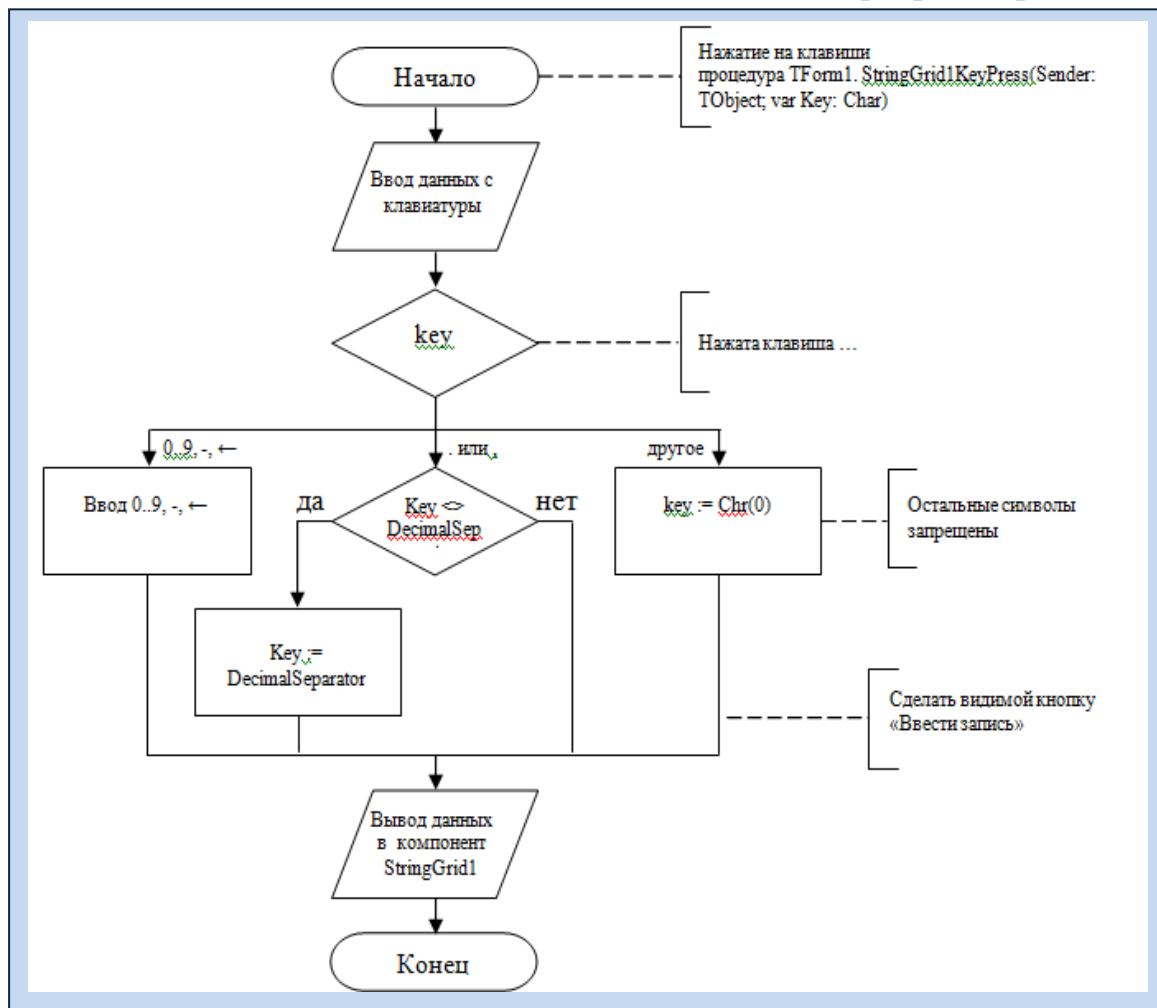


Рис. 2.33. Алгоритмическая модель опроса матричной клавиатуры ПК

Если алгоритмические модели показывают последовательность и логику выполнения операций в сложных технических электронных системах, то временные диаграммы функционирования ее отдельных элементов показывает модель процесса, развернутого во времени. На рис. 2.36 показана принципиальная схема одного из самого распространенного элемента вычислительной техники – триггера.

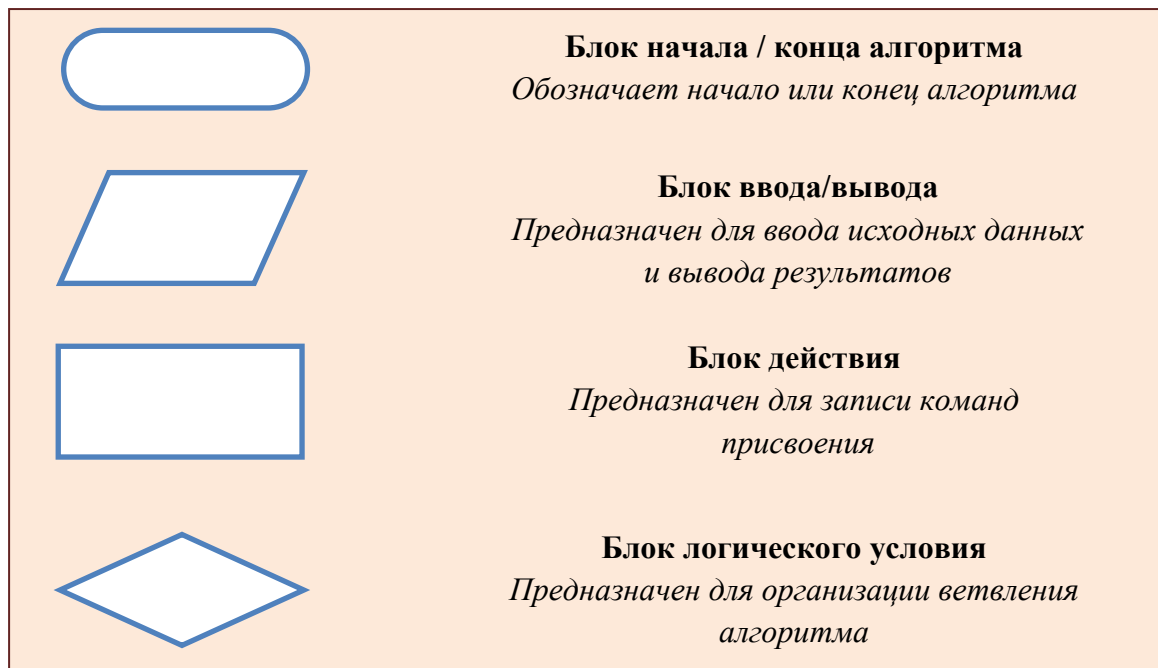


Рис. 2.34. Блоки алгоритмической модели опроса матричной клавиатуры ПК (элементы блок-схем)

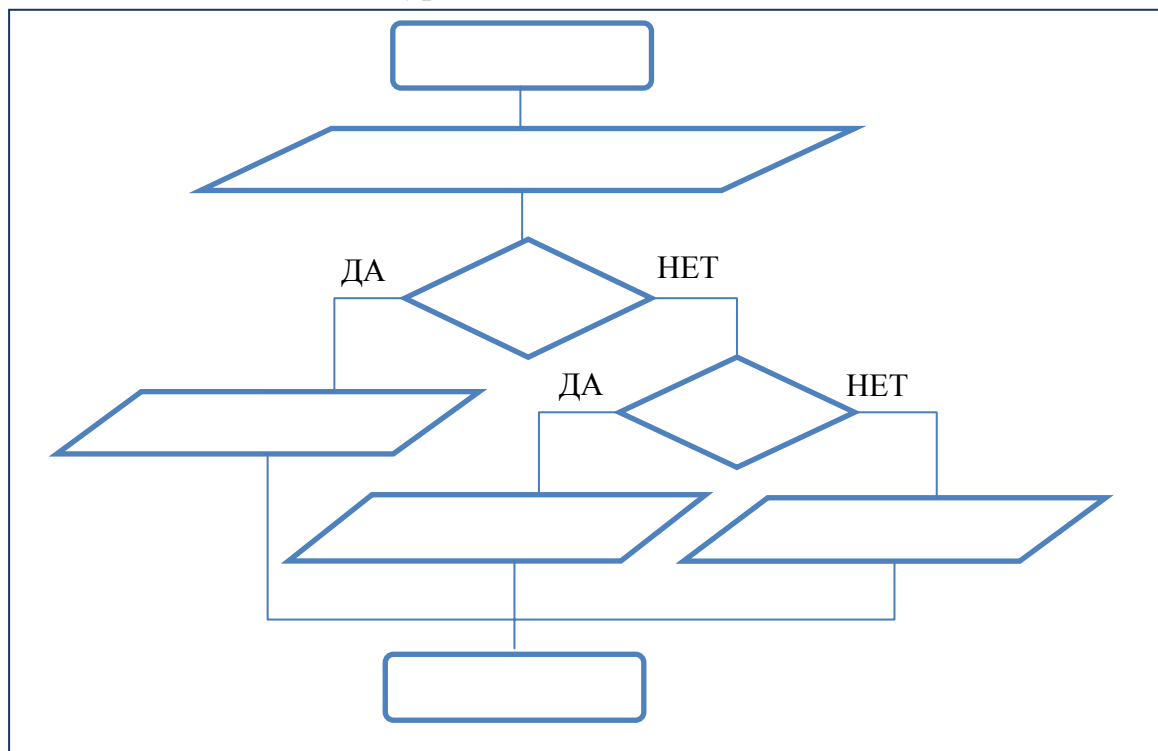


Рис. 2.35. Обобщенный алгоритм выбора

**Триггер** (триггерная система) — класс электронных устройств, обладающих способностью длительно находиться в одном из двух устойчивых состояний и чередовать их под воздействием внешних сигналов. Каждое

состояние триггера легко распознается по значению выходного напряжения (+ или 0).

В настоящее время имеется много разновидностей триггеров. На рис. 2.36 показано самый простой RS-триггер, отличительной особенностью которого является свойство запоминания двоичной информации.

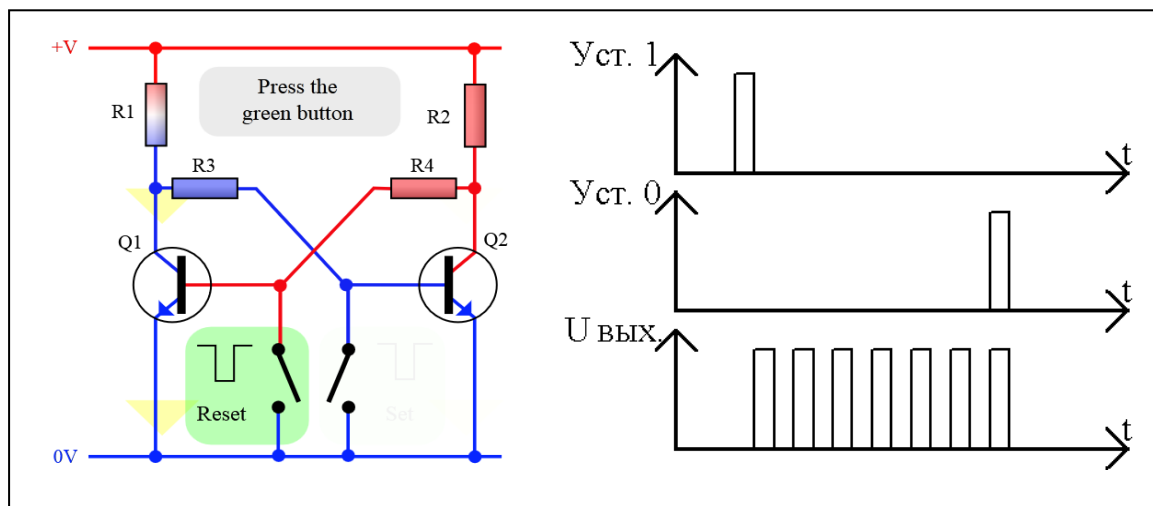


Рис. 2.36. Принципиальная схема RS-триггера и временная диаграмма его работы

Высокая эффективность методов алгоритмизации привела к развитию, как вычислительных средств, так и к созданию моделей искусственного интеллекта.

Таким образом, рассмотрены основные понятия и этапы моделирования сложных систем. На примерах организационной системы (факультет вуза) и сложной технической системы (компьютера) показана их структура и динамика функционирования.

## 2.6 Системно-синергетический подход как метод исследования самоорганизующихся систем

Системно-синергетический подход в системном анализе играет важную роль при изучении самоорганизующихся, динамических и нелинейных систем.

Приведем основные определения.

**Самоорганизация** - процесс упорядочения в системе элементов и связей за счёт внутренних факторов, без внешнего специфического воздействия.

**Синергия**, синергический эффект (от греч. synergós — вместе действующий) - возрастание эффективности функционирования совокупности отдельных устройств при их соединении в единое целое за счет так называемого системного эффекта эмерджентности.

**Гомеостаз** - саморегуляция, способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия без внешнего воздействия.

**Фрактал** (лат.. fractus - дробленный, сломанный, разбитый) - сложная геометрическая фигура, обладающая свойством самоподобия, то есть составленная из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. В более широком смысле под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность (в смысле Минковского или Хаусдорфа), либо метрическую размерность, строго большую топологической.

**Точка бифуркации** - критическое состояние системы, при котором система становится неустойчивой относительно флуктуаций и возникает неопределенность: станет ли состояние системы хаотичным или она перейдет на новый, более дифференцированный и высокий уровень упорядоченности.

Использование системно-синергетического подхода возможно только при определенных условиях, к которым относятся:

- наличие сложности и открытости систем;
- существование равновесия (не равновесия) открытой системы, где ее энтропия максимальна (минимальна);
- возникновение нового порядка и усложнение системы за счет флуктуаций (случайных отклонений) состояний их элементов и подсистем;
- наличие в системе положительных обратных связей, которые преобладают над отрицательными обратными связями;
- сложная система является конфигурируемой.

Данные условия полностью соответствуют условиям развития и функционирования современных образовательных систем. Кроме того, в работах [7, 8] убедительно показано, что ОС является динамической и не-

линейной, так как ее основу составляет мыслительная (интеллектуальная) деятельность человека (студента, преподавателя и администратора вуза).

*Принципы системно-синергетического подхода к исследованию  
сложных систем:*

- синергетика изучает системы разных уровней организации, связь между ее элементами осуществляется через хаос;
- при объединении систем в метасистему она приобретает новые свойства, отсутствующие в исходных системах;
- общее для всех систем: спонтанное образование, изменения на макроскопическом уровне, возникновение новых качеств, этап самоорганизации;
- неравновесность в системе является источником появления новой организации;
- системы всегда открыты и обмениваются энергией / информацией с внешней средой;
- процессы локальной упорядоченности совершаются за счет притока энергии извне;
- в сильно неравновесных условиях системы начинают воспринимать те факторы, которые они бы не восприняли в более равновесном состоянии;
- в неравновесных условиях независимость элементов уступает место корпоративному поведению;
- вдали от равновесия согласованность поведения элементов возрастает;
- в условиях, далеких от равновесия, в системах действуют бифуркационные механизмы – наличие точек раздвоения продолжения развития.

### Дополнительные источники информации

1. Метешкин, К.А. Краеугольные камни пирамиды знаний научно-педагогических и педагогических работников. XXI век [Текст]: учебник / К. А. Метешкин. – Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2012. – 335 с.
2. Богданов, Александр Александрович [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>. 17.10.13 г. Заголовок с экрана.
3. Карл Людвиг фон Берталанфи. Общая теория систем [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://bourabai.kz/dm/system.htm#11>. 19.10.13 г. Заголовок с экрана.
4. Винер, Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине [Текст] / Н.Винер. – М.: Советское радио. – 1958. – 264 с.
5. Ян Амос Коменский Великая дидактика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://jorigami.ru/PP\\_corner/Classics/Komensky/](http://jorigami.ru/PP_corner/Classics/Komensky/). 28.10.13 г. Заголовок с экрана.
6. ПСИХОЛОГОС. Энциклопедия практического психолога. Педагогическая система А.С. Макаренко [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.psychologos.ru/articles/view/pedagogicheskaya\\_sistema\\_a.s.makarenko](http://www.psychologos.ru/articles/view/pedagogicheskaya_sistema_a.s.makarenko). 29.10.13 г. – Заголовок с экрана.
7. Большая Советская Энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1978.
8. Сорока, К.О. Основи теорії систем і системного аналізу: [Текст] навч. посібник / К.О. Сорока. – Х.: Тимченко, 2005. – 288 с.
9. Ожегов, С.И. Словарь русского языка / под ред. док. филол. наук, проф. Н.Ю. Шведовой. – М.: Рус.яз., 1984. – 797 с.
10. *Bosman, Julie*. After 244 Years, Encyclopaedia Britannica Stops the Presses *New York Times* (13 March 2012).
11. Вернадский, Владимир Иванович [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>. 12.11.13 г. - Заголовок с экрана.
12. Единство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>. 15.11.13 г. – Заголовок с экрана.
13. Метешкин, К.А. Основы организации функционирования и перспективы развития системы «высшая школа Украины» [Текст] монография / К.А. Метешкин; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2010. – 309 с.



14. Метешкин, К.А. Кибернетическая педагогика: теоретические основы управления образованием на базе интегрированного интеллекта [Текст] монография / К.А. Метешкин; Международный славянский университет. Х.: 2004. – 400 с.
15. Метешкин, К.А. Кибернетическая педагогика: лингвистические технологии в системах с интегрированным интеллектом. Харьков [Текст] монография / К.А. Метешкин. Международный славянский университет. Х.: 2006. – 238 с.
16. Кибернетическая педагогика: онтологический инжиниринг в обучении и образовании [Текст]: монография / К. А. Метешкин, О. И. Морозова, Л. А. Федорченко, Н. Ф. Хайрова. – Х.: ХНАГХ, 2012. – 208 с.
17. Кузнецов, О.П. Дискретная математика для инженеров [Текст] / О.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 480 с.
18. Проблема. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org> 18.11.13 г. - Заголовок с экрана.
19. Newell, A., and Simon, H. A. (1972) Human problem solving Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
20. Zadeh, Lotfi A., «Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing», Communications of the ACM, March 1994, Vol. 37 No. 3, pages 77-84.
21. Системный подход. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>. 11.12.13 г. – Заголовок с экрана.

*Навчальне видання*

**МЕТЕШКІН Костянтин Олександрович**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни

**«ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ»**

*(для студентів I курсу денної форми навчання напряму підготовки  
6.080101 – «Геодезія, картографія та землеустрій», спеціальності  
8.08010104 – «Оцінка землі та нерухомості»).*

(рос. мовою)

Відповідальний за випуск *К. О. Метешкін*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2014, поз. 23Л

---

Підп. до друку 13.06.2014

Формат 60×84/16

Друк на різнографі

Ум.-друк. арк. 5,2

Зам. №.....

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.